Zeitschrift
für den
Physikalischen und Chemischen Unterricht.

XXXIX. Jahrgang. 1926. Zweites Heft.

Das physische Pendel in den Schülerübungen[1]).

Von Prof. Dr. **Franz Zimmermann** in Horn, Nieder-Österreich.

Eine bei Schülern beliebte Tändelei besteht darin, Lineal, Transporteur oder Dreieck an die Zirkelspitze zu hängen und in Pendelschwingungen zu versetzen. Sollte dabei die Tatsache, daß das Dreieck um verschiedene Aufhängepunkte ungleich schnell schwingt, nicht vielleicht doch auch ein Grund mit dafür sein, daß dieses Spiel so andauernd seinen Reiz behält? Im nachfolgenden will ich zeigen, wie diese Tändelei in den Dienst der wissenschaftlichen Beobachtung gestellt werden kann.

Zur Verwendung können ganz unregelmäßige Figuren kommen, besonders aber regelmäßige: Rechtecke, Dreiecke in allen Formen, Sechsecke, Kreis und Ellipse als Vollfiguren wie auch als mit ähnlichen, schwerpunktgleichen Ausschnitten versehene Restfiguren. Wir schneiden sie uns aus starkem Karton oder dickerem Laubsägeholz. Im Notfalle tut auch ein wenig zugeschnittener Einbanddeckel ausgeschiedener Bücher ganz gute Dienste; und gerade das möchte ich für den ersten Versuch recht empfehlen. Die Schwingungsfiguren, an denen ich nachstehende Untersuchungen anstellte, bestanden durchweg aus diesem Material und funktionierten mit bewundernswerter Präzision.

Wir durchbohren den Pappdeckel an einer Stelle mit einer Nadel. Bei Figuren aus Laubsäge- oder noch dickerem Holz muß das etwas sorgfältiger mit einem Drillbohrer geschehen, damit die Achse hernach auf der Ebene senkrecht steht. Als Achse verwenden wir eine Stopf- oder dünnere Stricknadel. Als Lager für die Achse dienen zwei horizontale stärkere Stricknadeln oder Glasröhren, die wir über den Tischrand vorstehen lassen und mit einem dickeren Buch beschweren.

Sitzt die Achse fest in der Figur, so schwingt diese der geringen Reibung halber nicht nur geraume Zeit, sondern wir können auch der Forderung nach einem kleinen Ausschlagswinkel Rechnung tragen. Viel charakteristischer heben sich die Umkehrlagen durch das Schwanken der ganzen Figur ab, als es bei einem Fadenpendel bei kleiner Länge und Ausschlagswinkel der Fall ist. Ich habe an meinen Schülern und an mir selbst beobachtet, daß Schwingungszahlen über 180 in der Minute ohne merkliche Ermüdung wiederholt abgezählt wurden, während beim Fadenpendel von entsprechender Schwingungszahl ein Teil der Schüler überhaupt nicht mitkam, die anderen aber klagten, es mache sie das ganz schwindlig. Es erklärt sich diese Erscheinung meines Erachtens wohl dadurch, daß die Beobachtungen der ersteren Art bei ruhendem Blick gemacht werden können, während im anderen Fall das Auge dem Pendelkörper unwillkürlich zu folgen pflegt. An einer Ecke aber, oder einem irgendwo am Rande hervorstehenden Papierfäserchen werden die kleinsten Schwingungen noch mühelos unterschieden.

I. Der unregelmäßige Körper.

Wir haben die Konturen eines „beliebigen“ Körpers auf starken Karton gezeichnet, ausgeschnitten und mit einer Schwingungsachse versehen.

[1]) Anmerkung des Herausgebers: Man vergleiche Fr. C. G. Müller, Einfache Versuche mit physischen Pendeln, diese Zeitschrift, Jahrgang XXXVII, 170 (1924) und E. Mach, Die Prinzipien der Mechanik. Verlag Brockhaus 1912.

Zur Bestimmung des Schwerpunktes müssen wir den Körper an mindestens zwei Punkten aufhängen und die Lotrichtung bestimmen. Wir nehmen unseren „allgemeinen Körper", den wir mit seiner Achse auf die Glasröhren gelegt hatten, wieder von seinem Lager und hängen daran einen Senkel, indem wir die Masche des Fadens, an dem der Senkel an die Stricknadel angehängt ist, ganz nahe an den Körper heranschieben, und legen das Ganze wieder auf das Lager. Nach einigen Schwingungen, die wir dämpfen, kommt die Figur zur Ruhe, und wir markieren nun den Punkt, wo das Lot am unteren Rande die Figur berührt. Dann nehmen wir die Stricknadel heraus, ziehen die Schwerlinie und verfahren ebenso bezüglich einer anderen durchlochteu Stelle. Die Löcher mögen wohl gegen den Rand der Figur verlegt werden, brauchen aber nicht ganz am Rande zu liegen.

Jetzt prüfen wir noch die Lage des Schwerpunktes, indem wir ihn mit einer dünnen Nadel durchstechen und die Figur wieder auf das Lager legen. Bleibt sie in jeder Lage, die wir ihr geben, oder schwingt sie außerordentlich langsam, so können wir mit unserer Bestimmung des Schwerpunktes zufrieden sein; andernfalls müssen wir dieselbe noch verbessern.

Bestimmung des Trägheitsmomentes. Wir lassen die Figur um einen Punkt, dessen Abstand a vom Schwerpunkte wir mit einer Schublehre recht genau gemessen haben, schwingen und stellen die Schwingungszahl n in 1 Minute durch Beobachtung fest. Ist l die reduzierte Länge, so ist

$$n = \frac{60}{\pi}\sqrt{\frac{g}{l}}\ [\mathrm{min}^{-1}] \text{ und daraus } l = \frac{3600\,g}{\pi^2 n^2}.$$

Ist das Trägheitsmoment des Körpers bezüglich des Schwerpunktes $\mathfrak{T}_0$, so ist nach dem Steinerschen Satz für eine parallele Achse im Abstande a:

$$\mathfrak{T} = \mathfrak{T}_0 + Ma^2, \text{ daher } l = \frac{\mathfrak{T}_0 + Ma^2}{Ma} \text{ oder } \mathfrak{T}_0 = Ma(l-a).$$

Dadurch bestimmen wir den Faktor, mit dem man M multiplizieren muß, um das Trägheitsmoment $\mathfrak{T}_0$ zu erhalten; heißen wir ihn ϱ^2, so ist $\mathfrak{T}_0 = M\varrho^2$ und $\varrho^2 = a(l-a)$. Man nennt ϱ bekanntlich den Trägheitsradius, der bei den Schwingungen eine charakteristische Stellung einnimmt.

Um diesen Faktor noch genauer zu bestimmen, empfiehlt es sich wohl, um andere Punkte in den Entfernungen a_1, a_2 . . . vom Schwerpunkte Schwingungsversuche auszuführen. Es ergeben sich dabei die Schwingungszahlen n_1, n_2 . . . , aus welchen die zugehörigen l_1, l_2 . . . berechnet werden. Von allen Produkten $a_1(l_1-a_1)$, $a_2(l_2-a_2)$ . . . nehme man den Mittelwert.

Prüfung der Pendelformel. Nachdem ϱ^2 möglichst genau bestimmt ist, können wir für einen beliebigen Punkt in der Entfernung a, die wir mit der Schublehre recht genau messen, die Schwingungszahl im voraus berechnen

$$n = \frac{60}{\pi}\sqrt{\frac{Mag}{\mathfrak{T}}} = \frac{60}{\pi}\sqrt{\frac{Mag}{\mathfrak{T}_0 + Ma^2}} = \frac{60}{\pi}\sqrt{\frac{Mag}{M\varrho^2 + Ma^2}} = \frac{60}{\pi}\sqrt{\frac{ag}{\varrho^2 + a^2}}\ [\mathrm{min}^{-1}]$$

und hernach durch Beobachtung das Resultat verifizieren.

Stellen gleicher Schwingungszahlen. Durch die vorangegangenen Schwingungsversuche hat sich wohl ein rechtes Kunterbunt von Schwingungszahlen ergeben. Der Schüler hat vielleicht schon bemerkt, daß die Schwingungszahlen gegen die Mitte und gegen den Rand hin abnehmen, vielleicht auch, daß an zwei Stellen die gleiche Schwingungszahl sich herausstellte.

Da die Formeln $n = \frac{60}{\pi}\sqrt{\frac{ag}{\varrho^2 + a^2}}$ und $l = \frac{\mathfrak{T}_0 + Ma^2}{Ma}$ bei gegebener Schwingungsfigur nur von a abhängen, so ergibt sich daraus der interessante, wenngleich selbstverständliche Satz:

Alle Punkte im Abstande a haben das gleiche Trägheitsmoment, daher die gleiche reduzierte Pendellänge und Schwingungszahl.

Ziehen wir um den Schwerpunkt einen Kreis mit dem Radius a, so haben alle Punkte desselben die Eigenschaft, daß sie als Aufhängungspunkte benutzt, gleiche Schwingungszahlen ergeben. Ziehen wir noch mehr konzentrische Kreise, so ändert sich die Schwingungszahl von Kreis zu Kreis, aber für einen und denselben Kreis bleibt sie den ganzen Umfang entlang konstant.

Mit den Schülern ist diese im ersten Moment etwas verblüffende Tatsache in gleicher Front rasch überprüft. Der Lehrer hat vorher an den verschiedenen Kreisen die Löcher numeriert und läßt die Achsen auf alle verschiedenen Nummern stecken, so daß der Körper in der Ruhelage alle möglichen Stellungen einnimmt. Die Schwingungszahlen erweisen sich als gleich.

Stellen größter Schwingungszahlen. Für einen Punkt in der Entfernung x ist

$$l = \frac{M\varrho^2 + Mx^2}{Mx} = \frac{\varrho^2 + x^2}{x} = \frac{\varrho^2}{x} + x \text{ und } \frac{dl}{dx} = -\frac{\varrho^2}{x^2} + 1, \frac{d^2l}{dx^2} = \frac{2\varrho^2}{x^3}.$$

Setzen wir $\frac{dl}{dx} = -\frac{\varrho^2}{x^2} + 1 = 0$, so ergibt sich für $x = \varrho$ ein Minimum der reduzierten Länge und ein Maximum für n.

Der mit dem Trägheitsradius um den Schwerpunkt gezogene Kreis enthält die Stellen raschester Schwingung.

Das Reversionspendel. Das Prinzip des Reversionspendels, Vertauschbarkeit von Aufhängungs- und Schwingungsmittelpunkt, kann an unserer Figur leicht erklärt werden. Es hat die Stelle in der Entfernung x die reduzierte Länge $l = \frac{M\varrho^2 + Mx^2}{Mx} = \frac{\varrho^2 + x^2}{x}$. Die Gleichung $x^2 - lx + \varrho^2 = 0$ hat aber bei konstantem l und ϱ zwei Lösungen $x_{1,2} = \frac{l}{2} \pm \sqrt{\frac{l^2}{4} - \varrho^2}$, wenn $\varrho < \frac{l}{2}$ ist.

Es gibt daher zwei Kreise mit $r_1 = \frac{l}{2} + \sqrt{\frac{l^2}{4} - \varrho^2}$ und $r_2 = \frac{l}{2} - \sqrt{\frac{l^2}{4} - \varrho^2}$, welche gleiche Schwingungszahlen aufweisen. Nur wenn $\frac{l}{2} = \varrho$ ist, d. h. zum Kreis mit dem Trägheitsradius, gibt es keinen zweiten mit gleicher Schwingungszahl, denn er enthält ja die Stellen raschester Schwingung, die an keiner andern wiederkehren. Ebenso folgt, daß für $\frac{l}{2} < \varrho$ die Gleichung keine reelle Lösung hat, oder Stellen noch rascherer Schwingung, wie im Kreis mit dem Trägheitsradius, gibt es nicht. Jeder Körper hat für seine möglichen Schwingungszahlen eine festgesetzte obere Grenze.

Sind aber zwei reelle Lösungen vorhanden, so liegen die beiden Kreise zu beiden Seiten des Kreises mit dem Trägheitsradius. Die Summe von r_1 und r_2 ist immer l. Für kleine Schwingungszahlen liegt der eine dieser Kreise wohl meist außerhalb der Schwingungsfigur. Wir müßten die Figur an einem schmalen, um seinen Schwerpunkt drehbaren Kartonstreifen, einer im Mittelpunkt drehbaren Kreisscheibe oder an einem Faden bifilar aufhängen, um diese Schwingungszahlen nachzuweisen.

Ich glaube, wenn so behandelt, dürfte das Reversionspendel seine Schrecknisse verlieren. Tatsache ist jedenfalls, daß das Reversionspendel mit den geheimnisvollen Linsen, die irgendwo eingestellt werden müssen, damit um die just 104 cm entfernten Schneiden gleiche Schwingungszahlen sich ergeben, für viele, vielleicht allzuviele, eine harte Nuß, ja ein unlösbares Rätsel bildet. Erst neulich erklärte mir ein in seinem Fache hervorragend bewanderter junger Kollege, daß er beim privaten

Studium auf die aus Physik abzulegende Nebenprüfung am physischen Pendel und besonders am Reversionspendel verständnislos vorübergehen mußte.

Zur Konstruktion eines Reversionspendels können wir eine Reihe von Figuren, die uns im folgenden entgegentreten werden, verwenden. Wir können vom Kreis, Ellipse, Rechteck, Dreieck usw. durch Rechnung die Stellen gleicher Schwingungszahlen finden. Diese haben eine von den speziellen Abmessungen der verwendeten Figur unabhängige relative Lage und können in jede eingezeichnet werden. Durch Beobachtung der Schwingungszahl und die speziellen Abmessungen läßt sich die Erdbeschleunigung in einer für Schülerversuche befriedigenden Weise bestimmen.

Anmerkung. Die Versuche, soweit sie bis jetzt besprochen wurden, wie auch die folgenden, können von den Schülern in gleicher Front ausgeführt werden. Bequem wäre es natürlich, wenn jeder Schüler eine eigene Vorrichtung hätte und an seinem gewöhnlichen Platz sitzen bleiben könnte. Für diesen Fall würde sich eine aus zwei dünneren und einer dickeren Holzleiste zusammengesetzte Gabel eignen. An den Endflächen ihrer Zinken wird ein Stück einer Stricknadel oder einer Glasröhre aufgekittet, um ein möglichst reibungsloses Schwingen zu ermöglichen. Durch den Fuß der Gabel treibe man zwei Nägel, die beide etwas vorstehen, davon einer etwas mehr. An der Stirnseite der Schulbank kann die Gabel durch einen leichten Hammerschlag befestigt werden. Bei aufgelegter Figur wird zunächst durch den weiter hervorstehenden Nagel die Gabel vertikal gestellt und hierauf durch Eintreiben auch des zweiten Nagels definitiv befestigt. Im Notfalle kann man auch Glasröhren über die Tischkante vorgehen oder sich Standbretter anfertigen lassen, in deren gleich hoch angebrachte Löcher man vielleicht vorhandene Fluchtstäbe, Vorhangstangen usw. schiebt. Um zwei Stangenlängen je 2 m verwenden zu können, läßt man sich ein Standbrett mit zwei übereinanderliegenden Paaren von Löchern anfertigen, deren Höhe mit der Höhe je eines mit einem Löcherpaar versehenen Standbrettes übereinstimmt. So braucht man für 4 m Länge nicht vier, sondern nur drei Standbretter, wodurch Platz erspart wird. Die Länge des Experimentiertisches stimmt ja wohl auch damit überein. Die Schüler stehen bei gründlicher Ausnutzung des Raumes ziemlich gedrängt.

Die Zeit nimmt am besten der Übungsleiter selbst und läßt auf Kommando hin durch zwei Minuten die Doppelschwingungen still abzählen und bei den späteren systematischen Versuchen in Tabellen eintragen.

Um über die Genauigkeit der Bestimmung des Trägheitsmomentes durch die Schwingungszahlen einen Anhaltspunkt zu geben, erwähne ich, daß bei einem Trapezoid aus den Abmessungen sich $\mathfrak{T}_0 = 7392\,\sigma$, aus den Schwingungszahlen sich $\mathfrak{T}_0 = 7394\,\sigma$ ergab, wobei σ die Raumdichte bezeichnet. Man mag auch das Trägheitsmoment des Rades an der Fallmaschine oder der Scheibengewichte des physischen Pendels für genauere Versuche durch Schwingung an der Stricknadel bestimmen und kann in das erhaltene Resultat gutes Vertrauen setzen.

Hat man gleiche Figuren und läßt man von den einzelnen Schülern verschiedene Punkte eines und desselben Kreises als Achsen benutzen, so ist das gleiche Ergebnis trotz ganz verschiedener Stellung der Körper in der Ruhelage recht eindrucksvoll. Noch wirkungsvoller ist die Versuchsreihe mit Figuren derselben Art, mit zwar verschiedenen Abmessungen aber gleichem Trägheitsradius, z. B. Rechtecken mit gleicher Diagonale, vom Quadrat bis zum ganz schmalen Kartonstreifen, vom Kreis bis zur langgezogenen Ellipse, verschiedenen Kreisringen usw., welche bei gleichen Abständen des Aufhängungspunktes vom Schwerpunkte, also für alle Punkte gleich numerierter Kreise, isochron schwingen. Die Unabhängigkeit der reduzierten Pendellänge von der Masse wird den Schülern recht deutlich vor Augen treten.

Besonders lehrreich ist die Versuchsreihe mit einer Figur, deren Trägheitsmoment durch Rechnung gefunden werden kann. Es läßt sich hier durch konzentrische Kreise um den Schwerpunkt eine ganze Topographie der reduzierten Pendel-

länge und Schwingungszahlen durchführen. Zeichnet man auf Koordinatenpapier in der X-Achse die Entfernungen vom Schwerpunkt als Bruchteile der für die Figur in Betracht kommenden Abmessung und in der Y-Richtung die errechneten reduzierten Pendellängen etwa auf $^1/_{30}$ verkürzt, so erhält man eine Hyperbel. Aus der Gleichung $x^2 - x\,l + \varrho^2 = 0$ ergibt sich, daß dieselbe um $\varphi = 67^0\,30'$ verdreht ist und ihre Achsen $a = \varrho\sqrt{2\sqrt{2}+2}, b = \varrho\sqrt{2\sqrt{2}-2}$ sind. Trägt man auf dasselbe Blatt auch die Schwingungszahlen in Millimetern auf, so erhält man eine hyperbelähnliche, mit der konkaven Seite der Konkavseite der Hyperbel zugewendete Kurve höheren Grades von der Form $\pi^2 n^2 (x^2 + \varrho^2) - g x = 0$, wobei n und x die Variablen, ϱ aber konstant ist. Ändert man bei gleicher Figur die Abmessungen, so erhält ϱ einen anderen Wert, und es ergibt sich eine andere Kurve mit ähnlichem Verlauf. Trägt man bei dieser Kurvenschar in den Punkten die Schwingungszahl ein, so läßt das Bild an Anschaulichkeit und Verwendbarkeit nichts zu wünschen übrig.

II. Berechenbare Körper.

Die Berechnung von Trägheitsmomenten der einfacheren geometrischen Figuren kann man nach dem höheren Kalkül vornehmen. Die Schüler pflegen die Berechnungen als interessante Anwendung der Integralrechnung gern hinzunehmen und ihnen mit gutem Verständnis zu folgen. Sind die Voraussetzungen nicht vorhanden, so schreibe man auf die in Verwendung stehenden Figuren die Formeln für $\mathfrak{T}_0$ darauf. Der Schüler kann dann mittels des Steinerschen Satzes für jeden beliebigen Punkt Trägheitsmoment, reduzierte Länge und Schwingunszahl berechnen. Im nachstehenden teile ich einige Beispiele von Trägheitsmomenten mit, die auf dem Wege der Infinitesimalrechnung berechnet und darauf durch den Versuch geprüft und bestätigt wurden[1]).

1. Für einen Stab ist $\mathfrak{T}_0 = M\frac{L^2}{12}$. Teilen wir denselben in 24 gleiche Teile und durchbohren ihn an diesen Punkten, so ergibt sich für einen dieser Punkte im Abstande x vom Schwerpunkte die zugehörige reduzierte Pendellänge

$$l = \frac{M\frac{L^2}{12} + Mx^2}{Mx} = \frac{L^2 + 12x^2}{12x}.$$ Durch Substitution $x = \frac{L}{24}, \frac{2L}{24}, \ldots, \frac{12L}{24}$ in die Gleichung $12\,l\,x = L^2 + 12\,x^2$ lasse man die Schüler in allseitigem Angriff die Tabelle der reduzierten Pendellänge errechnen und nach erfolgter Überprüfung von seiten des Übungsleiters die Werte eintragen. Rechnung und Versuche ergeben, daß die reduzierte Pendellänge für die Löcher 4 und 12 einander gleich sind, ebenso für die Punkte 6 und 8, wobei der Schwerpunkt die Nummer 0 trägt und nach beiden Hälften die Numerierung von 1 bis 12 fortschreitet. Die kleinste reduzierte Pendellänge liegt bei $x = \varrho = \sqrt{\frac{L^2}{12}} = \frac{L}{6}\sqrt{3}$ zwischen Loch 6 und 7.

Die Schwingungszahl berechnen wir aus

$$n_{\min} = \frac{60}{\pi}\sqrt{\frac{g}{l}} = \frac{60}{\pi}\sqrt{\frac{g}{\frac{p}{g}L}} = \frac{60}{\pi}\sqrt{\frac{g}{L}}\cdot\sqrt{\frac{g}{p}}.$$

Der Übungsleiter berechnet sich ein für allemal die Logarithmen von $\sqrt{\frac{g}{p}}$, welche Tabelle er seiner Apparatur beilegt. Für einen und denselben Stab ist $\frac{60}{\pi}\sqrt{\frac{g}{L}}$ eine

[1]) Auf die Wiedergabe der zahlreichen Tabellen beobachteter Werte mußte aus Raumrücksichten verzichtet werden.

Konstante. Der Lehrer läßt den Logarithmus anschreiben und diktiert die zwölf Logarithmen von $\sqrt{\frac{g}{p}}$. Bei allseitigem Angriff haben die Schüler dann rasch die Schwingungszahlen berechnet und tragen zu den Beobachtungsresultaten die errechneten Ergebnisse ein. Dieser Vorgang empfiehlt sich auch für alle folgenden Berechnungen.

2. Für ein Rechteck mit den Seiten a und b ergibt sich $\mathfrak{T}_0 = \frac{M(a^2 + b^2)}{12} = M\frac{d^2}{12}$, wenn d die Diagonale bedeutet. Rechtecke mit gleicher Diagonale haben für gleichweit vom Schwerpunkt abstehende Achsen gleiche reduzierte Pendellänge, schwingen also isochron. Einfache Formen für die Pendellängen bekommen wir, wenn wir die Diagonale in gleiche (24) Teile teilen. Der Kreis raschester Schwingung hat den Radius $\varrho = \frac{d}{6}\sqrt{3}$.

3. Für ein ungleichseitiges Dreieck berechnet sich $\mathfrak{T}$ am leichtesten in bezug auf die Spitze (C). Es ergibt sich, wenn s die seitenhalbierende Transversale nach c ist, $\mathfrak{T} = \frac{M}{24}(c^2 + 12\,s^2)$ und demnach für eine Achse durch den Schwerpunkt, der um $\frac{2s}{3}$ von C entfernt liegt:

$$\mathfrak{T}_0 = \frac{M}{24}(c^2 + 12\,s^2) - M\frac{4\,s^2}{9} = M\frac{3\,c^2 + 4\,s^2}{72}.$$

Führen wir die beiden anderen Seiten a und b ein, so ist $s^2 = \frac{a^2 + b^2}{2} - \frac{c^2}{4}$, also $\mathfrak{T}_0 = \frac{M}{36}(a^2 + b^2 + c^2)$.

Es folgt daraus, daß alle Dreiecke, für die $a^2 + b^2 + c^2$ gleich ist, oder welche gleiche Grundlinie c und gleiche Schwerlinie s haben, gleichen Trägheitsradius besitzen.

4. Für das rechtwinklige Dreieck folgt aus dem vorigen:

$$\mathfrak{T}_0 = \frac{M}{36}(a^2 + b^2 + c^2) = \frac{Mc^2}{18} \quad \text{und} \quad \varrho = \frac{c}{6}\sqrt{2}.$$

Alle rechtwinkligen Dreiecke über derselben Hypotenuse haben gleichen Trägheitsradius.

Teilt man die Hypotenuse c in 24 gleiche Teile, trägt diese auf der Schwerlinie vom Schwerpunkte aus auf und zieht um ihn durch die Teilungspunkte Kreise, so folgt aus dem Werte der reduzierten Pendellänge, daß der Kreis 8, der durch den Eckpunkt C des Dreiecks hindurchgeht, und der Kreis 4, der durch den Mittelpunkt des Umkreises und durch das zweite Drittel der Schwerlinie geht, gleiche Schwingungszahlen aufweisen. Der Kreis mit der größten Schwingungszahl hat den Radius $\varrho = \frac{r}{3}\sqrt{2}$.

5. Für das gleichseitige Dreieck folgt

$$\mathfrak{T}_0 = \frac{Ma^2}{12} \quad \text{oder} \quad \mathfrak{T}_0 = \frac{Mh^2}{9}.$$

Teilt man die Höhe in 12 gleiche Teile und zieht durch den Schwerpunkt die konzentrischen Kreise, so fallen die Punkte schnellster Schwingung mit dem vierten dieser Kreise, d. i. dem Inkreise der Figur, zusammen; die Kreise 2 und 8 sind synchron; ersterer geht durch die Halbierungspunkte des zweiten und dritten Drittels der Höhe, letzterer durch die drei Ecken.

6. Für das regelmäßige Sechseck folgt, da es aus sechs gleichseitigen Dreiecken besteht, für eine durch den Mittelpunkt gehende Achse, wenn die Masse eines Dreiecks m ist:

$$\mathfrak{T}_0 = 6\,m\frac{5\,a^2}{12} = M\frac{5\,a^2}{12}, \quad \text{da } 6\,m = M \text{ ist.}$$

Teilt man die Winkelsymmetrale in 24 gleiche Teile und zieht um den Mittelpunkt O die zwölf konzentrischen Kreise, so sind die Kreise 12 und 5 synchron, ebenso die Kreise 6 und 10; der Kreis raschester Schwingung hat den Radius $\varrho = \frac{a}{6}\sqrt{15}$.

Teilt man dagegen die Seitensymmetrale in 24 gleiche Teile, so sind Kreis 8 und 10 isochron, der Kreis raschester Schwingung hat den Radius $\varrho = \frac{h}{4}\sqrt{5}$.

7. Für das Trapezoid kann man das Trägheitsmoment aus dem zweier Teildreiecke bezüglich des gemeinsamen Schwerpunktes zusammensetzen. Sind a und b die Schenkel des einen, c und d die des anderen Teildreiecks, H der Mittelpunkt der beiden gemeinsamen Diagonale, so ist das Trägheitsmoment der ganzen Figur, auf diesen Punkt bezogen:

$$\mathfrak{T} = M_1 \frac{a^2 + b^2}{12} + M_2 \frac{c^2 + d^2}{12}.$$

M_1 und M_2 sind die Massen der beiden Dreiecke. Hat der Punkt H vom gemeinsamen Schwerpunkt den Abstand r, so ist

$$\mathfrak{T}_0 = M_1 \left(\frac{a^2 + b^2}{12} - r^2 \right) + M_2 \left(\frac{c^2 + d^2}{12} - r^2 \right).$$

8. Für das Deltoid, das aus zwei symmetrisch kongruenten Dreiecken besteht, folgt aus Nr. 7

$$\mathfrak{T}_0 = M \left(\frac{a^2 + b^2}{12} - r^2 \right),$$

oder wenn d_1 und d_2 die beiden Diagonalen sind,

$$\mathfrak{T}_0 = M \frac{a^2 + b^2 + {d_1}^2 + {d_2}^2}{36}.$$

9. Für die Ellipse folgt durch Zerlegung in Streifen parallel zur großen Achse

$$\mathfrak{T}_0 = M \frac{a^2 + b^2}{4} = M \frac{d^2}{16},$$

wenn d die Diagonale des umbeschriebenen Rechteckes bedeutet, ferner

$$l = \frac{M \frac{d^2}{16} + M x^2}{Mx} = \frac{d^2 + 16 x^2}{16 x}.$$

Teilt man die Diagonale d in 24 gleiche Teile und zieht durch die Teilungspunkte konzentrische Kreise um den Mittelpunkt der Ellipse, so ergibt sich, daß die Kreise 4 und 9 gleiche Schwingungszahlen aufweisen und der Kreis mit maximaler Schwingungszahl den Radius $\frac{d}{4}$ hat, also mit Kreis 6 zusammenfällt.

10. Für den Kreis folgt aus Nr. 9 oder auf direktem Wege

$$\mathfrak{T}_0 = M \frac{r^2}{2} = M \frac{d^2}{8},$$

wenn d der Durchmesser des Kreises ist.

Teilt man den Durchmesser in 24 gleiche Teile, so ergibt sich, daß die Kreise 8 und 9 gleiche Schwingungszahlen zeigen, ebenso die Kreise 6 und 12; die Stellen raschester Schwingung liegen auf dem Kreis mit dem Radius $\varrho = \frac{d}{4}\sqrt{2}$.

Nimmt man aber als charakteristisches Stück wie bei der Ellipse die Diagonale D des umgeschriebenen Quadrates, so ist $\mathfrak{T}_0 = M \frac{D^2}{16}$. Es gilt dann alles unter Nr. 9 Erwähnte. Bei gleichzeitiger Verwendung verschiedener synchroner Ellipsenformen wird man auch den ihnen synchronen Kreis als solche auffassen und D in 24 gleiche Teile teilen.

11. Für den Kreisring wird $\mathfrak{T}_0 = M\frac{R^2 + r^2}{2}$. Teilt man den Durchmesser eines Kreises in 24 gleiche Teile und zieht die konzentrischen Kreise, fertigt sich mehrere solcher Kreise und schneidet aus diesen die Kreise 1, 2, ... 11 aus, so erhält man eine Reihe von Kreisringen, die man einzeln untersuchen kann. Es zeigt sich, daß $\mathfrak{T}_0$ mit der Vergrößerung der ausgeschnittenen Fläche sehr langsam abnimmt, bei $r = \frac{R}{2}$ nur um 6,25 % vermindert ist, entsprechend auch die Schwingungszahl, die sich aber erst bei $r = \frac{11\,R}{12}$ für einen Randpunkt um 11,45 % erniedrigt. Führt man noch $D^2 = 4\,R^2 + 4\,r^2$ ein, so ist der Radius des Kreises raschester Schwingung $\varrho = \frac{D}{4}\sqrt{2}$. Interessant sind auch Vergleiche von Vollkreisen und isochronen Kreisringen, die durch die Beziehung $r^2 = r_1^2 + r_2^2$ zusammenhängen.

12. Figuren mit ähnlichem, schwerpunktgleichem Ausschnitt. Wir kehren hiermit zu jenen Figuren zurück, die durch den tändelnden Schüler unser Interesse erregt haben. Es sei nicht das gleichschenklige, sondern ein ungleichseitiges Dreieck der Gestalt von Fig. 1 als Vertreter der nun zu betrachtenden Figuren zugrunde gelegt. Ist M die Masse, R der Trägheitsradius der ganzen Figur, m und r die des Ausschnittes, μ und ϱ die der Restfigur, so gelten die Beziehungen: $m = \varkappa^2 M$, $r = \varkappa R$, wenn $\varkappa$ der Ähnlichkeitsmodul ist. Sind $\mathfrak{T}_0'$, $\mathfrak{T}_0''$ und $\mathfrak{T}_0$ die Trägheitsmomente von Figur, Ausschnitt und Restfigur, so ist

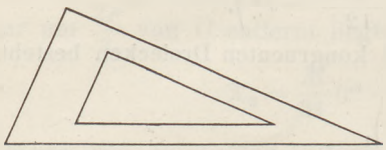


Fig. 1.

$$\mathfrak{T}_0' = \mathfrak{T}_0'' + \mathfrak{T}_0 \text{ oder } \mathfrak{T}_0 = \mathfrak{T}_0' - \mathfrak{T}_0''$$

$$\mathfrak{T}_0 = MR^2 - mr^2 = MR^2 - MR^2\varkappa^4 = MR^2(1 - \varkappa^4) = \mathfrak{T}_0'(1 - \varkappa^4).$$

Man ersieht, daß das Trägheitsmoment der Restfigur aus dem der Vollfigur durch Multiplikation mit dem Faktor $(1 - \varkappa^4)$ gefunden werden kann. Entsprechend sind $\varrho^2 = R^2(1 + \varkappa^2)$ und $\varrho = R\sqrt{1 + \varkappa^2}$. Die beim Kreisring gefundenen Beziehungen lassen sich leicht auf diese allgemeinen Figuren übertragen. Masse und Trägheitsmoment der Restfigur ändert sich auch nicht, wenn der Ausschnitt nicht perspektivisch liegt, sondern eine irgendwie verdrehte, aber schwerpunktsgleiche Lage einnimmt.

13. Isochrone Voll- und Restfiguren bei gleichem Abstand vom Schwerpunkt. Ist der Trägheitsradius einer Figur ϱ_1, der des Ausschnittes ϱ_2 und der einer mit der Restfigur isochronen Vollfigur ϱ, so sind die reduzierten Pendellängen

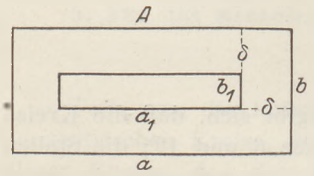


Fig. 2.

$$l = \frac{\varrho^2 + x^2}{x} \text{ für die Vollfigur, und}$$

$$l = \frac{\varrho_1^2(1 + \varkappa^2) + x^2}{x} \text{ für die Restfigur bei derselben Entfernung der Schwingungsachse vom Mittelpunkt. Die beiden Figuren sind isochron, wenn } \varrho^2 = \varrho_1^2(1 + \varkappa^2) \text{ ist, oder da } \varrho_2 = \varkappa\varrho_1, \text{ wenn } \varrho^2 = \varrho_1^2 + \varrho_2^2.$$

14. Der rechteckige Rahmen. Ist der Ausschnitt eines Rechteckes schwerpunktsgleich, aber nicht ähnlich, und bedeutet $\mathfrak{T}_1$ das Trägheitsmoment der Vollfigur, $\mathfrak{T}_2$ das des Ausschnittes, $\mathfrak{T}_0$ das der Restfigur, alle bezogen auf den Schwerpunkt (Fig. 2), so ist $\mathfrak{T}_0 = \mathfrak{T}_1 - \mathfrak{T}_2$

$$\mathfrak{T}_0 = (M - M_1)\frac{(a + b - 2\delta)^2 + 4\delta^2}{12}, \qquad \varrho^2 = \frac{(a + b - 2\delta)^2 + 4\delta^2}{12} = \frac{(s - \delta)^2 + \delta^2}{3},$$

wenn $a + b = 2s$ gesetzt wird, und für einen Punkt A nahe dem Rande ist

$$I = \frac{(a+b-2\delta)^2 + \delta^2}{6b} + \frac{b}{2},$$ während für denselben Punkt der Vollfigur

$$I' = \frac{a^2+b^2}{6b} + \frac{b}{2}$$ wäre.

15. Zusatzfiguren. Bringen wir an der Figur schwerpunktsgleich eine zweite Figur an, so ist

$$\mathfrak{T}_0 = \mathfrak{T}_0' + \mathfrak{T}_0'' = MR^2 + mr^2.$$

Ist die Zusatzfigur der ersten Figur ähnlich, so gelten die Beziehungen aus Nr. 12, und verwenden wir p solcher Zusatzscheiben, so ist

$$\mathfrak{T}_0 = MR^2(1+p\varkappa^4),\ M_1 = M + pM\varkappa^2 = M(1+p\varkappa^2)$$

$$l = \frac{MR^2(1+p\varkappa^4) + M(1+p\varkappa^2)x^2}{M(1+p\varkappa^2)x} = \frac{R^2(1+p\varkappa^4) + (1+p\varkappa^2)x^2}{(1+p\varkappa^2)x}.$$

Wie die Formeln, so lehren auch die Versuche, daß durch die Zusatzfiguren eine Verminderung der Pendellänge und damit eine Vergrößerung der Schwingungszahl eintritt.

Schlußbemerkung. Wir haben im vorstehenden bei den Ableitungen sowohl wie bei den Schwingungsversuchen flächenhafte Figuren verwendet. Es ändert sich selbstverständlich an den Resultaten nichts, wenn wir an unsere Stricknadel eine ganze Reihe kongruenter Figuren aufspießen, so daß die dritte, zur Achse parallele, Dimension immer mehr in den Vordergrund tritt. Haben wir aber ein Parallelepiped vor uns, das wir um vom Schwerpunkt gleichweit abstehende, auf den Seitenflächen senkrechte Achsen schwingen lassen, so kommt für die Schwingungszahl nur die Diagonale der durchbohrten Fläche in Betracht.

Ich habe meine Ausführungen breiter gehalten in der Erwägung, daß, wenn vieles geboten wird, für jeden etwas Zusagendes sich finden wird. Vieles kann von den Schülern in gleicher Front oder nach der Methode des allseitigen Angriffes ausgeführt, diese oder jene Figur einem einzelnen Schüler zur Untersuchung vorgelegt werden, wobei es an Abwechslung in der Fragestellung nicht mangelt. Werden die Übungen parallel dem Lehrgange geführt, so steht, da in den auf die Behandlung des physischen Pendels folgenden Kapiteln für die Betätigung der Schüler wenig abfallen dürfte, auch Zeit in genügendem Ausmaße zur Verfügung. Die etwas stärkere Inanspruchnahme der Aufmerksamkeit der Schüler dürfte auch ein erziehendes Moment enthalten, dessen wir uns nicht entäußern sollten.

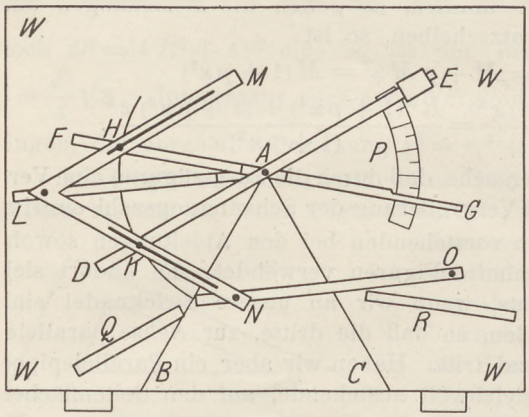
Ähnliche Versuchsanordnungen beschreibt Friedrich C. G. Müller in dieser Zeitschrift, 37. Jahrgang, 3. Heft. Bei Abfassung vorliegender Arbeit war mir diese Veröffentlichung deswegen unbekannt geblieben, da durch die leidigen Sparmaßnahmen, wie sie in der Nachkriegszeit überall einsetzten, der Bezug der Zeitschrift leider eingestellt wurde. Erst mit dem laufenden Jahrgang wurde der Bezug fortgesetzt. Nach Einsendung des Manuskriptes konnte mir der Herausgeber einen vom Verfasser liebenswürdig zur Verfügung gestellten Sonderabdruck zugehen lassen, und ich auf diese Weise in die interessante Veröffentlichung unseres Altmeisters Einsicht nehmen.

Eine Vorrichtung zur Veranschaulichung des Strahlengangs im Prisma.

Von **Friedrich C. G. Müller** in Berlin-Lichterfelde W.

Die in der Figur dargestellte, leicht und billig anzufertigende Vorrichtung ist auf einem Vertikalbrett W angebracht, dem der Grundriß ABC des Prismas aufgezeichnet wurde. $ALNO$ ist das um A und O drehbare Reusch sche Parallelogrammgestänge mit der geschlitzten, senkrecht zur vorderen Prismafläche geführten Leiste LN.

Mit dieser ist nun eine zweite gleichartige Leiste LM starr verbunden, unter einem Winkel gleich dem des Prismas. Das eintretende und das austretende Strahlenbündel sind durch die ebenfalls um A drehbaren dünnen prismatischen Holzstäbe DE und FG dargestellt. Diese werden durch in sie eingetriebene Stifte H und K, welche in den Schlitzen gleiten, mit dem Parallelogrammgestänge in kinematischen Zusammenhang gebracht. Da der Radius des von beiden Stiften beschriebenen Kreises sich zu AL wie $1 : n$ verhält, müssen durch Drehung des Systems alle Winkelverhältnisse beim Durchgang eines Strahls durch das Prisma zum Vorschein kommen. Um im besonderen den Ablenkungswinkel messend verfolgen zu können, ist unter AE der mit Gradteilung versehene Kartonbogen P befestigt.



Um auch den entsprechenden Strahlenverlauf mitten durch das Prisma vor Augen zu führen, spießt man zwei lose Stäbe Q und R mittels je zweier in ihnen steckenden Nähnadelspitzen parallel zu DA und FA so auf das Brett, daß sie mit der Lenkerstange einen zusammenhängenden Zug darstellen.

Das schon als solches interessante Getriebe gewinnt seinen besonderen Wert dadurch, daß es das Gesetz des kleinsten Ablenkungswinkels nicht nur in seiner Tatsächlichkeit, sondern auch in seinem Wesensgrunde ersichtlich macht. Denn schon mit dem geometrischen Rüstzeug der Mittelklassen läßt sich leicht erweisen, daß beim Herausdrehen des Winkels MLN aus der symmetrischen Lage das Zuwachsen des abgefaßten Bogens HK immer die Abnahme auf der anderen Seite überwiegt.

Hinsichtlich der Selbstanfertigung des beschriebenen Apparats sei zunächst bemerkt, daß die saubere Herstellung der erforderlichen etwa 35 cm langen Stäbe von 6 bis 8 mm im Quadrat am leichtesten durch umgekehrte Behobelung gelingt, indem man die gesägten Rohstäbe über die auf den Rücken gelegte Rauhbank hinwegschiebt.

Die geschlitzten Leisten erhält man aus zwei solchen Stäben durch Verleimen mit an den Enden zwischengelegten Kartonstreifen.

Als Gleitstifte dienen dünne 15 mm lange Drahtstifte, als Drehstifte Kopfschrauben derselben Länge. Für andere Brechungsexponenten — in der Figur ist $n = 1{,}5$ — können die Schrauben L und N leicht in entsprechende Punkte der Stäbe AL und ON versetzt werden.

Damit die drei um A drehbaren Stäbe alle platt auf die Brettebene zu liegen kommen, sind DE und FG mitten halb abzusetzen, während AE mittels eines untergeschraubten Blechstreifens auf dem Drahtstift A hängt.

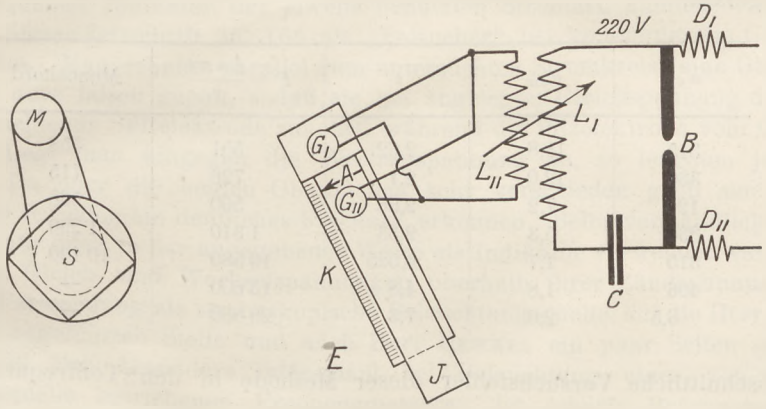
Das Ende E des Stabes DE ist mittels umgewickelter Bleifolie so zu beschweren, daß das Übergewicht der linken Seite ausgeglichen wird. —

Zum Schluß sei noch auf den günstigen Umstand hingewiesen, daß die Schüler nach dem Muster des Klassenapparats auf einem Stück Pappe oder einem Zigarrenkistendeckel aus Karton und Reißzwecken ein gut arbeitendes kleines Modell binnen einer halben Stunde herstellen können. Der Winkel MLN wird dabei als Ganzes mit der Schere ausgeschnitten, nachdem vorher in dem vollen Kartonblatt 1 mm breite Schlitze mittels eines scharfen Messers hergestellt wurden. Die übrigen Glieder bestehen aus 5 mm breiten Streifen. Die Zwecken A und O werden von oben eingetrieben, die übrigen von unten. Deren nach oben durch die Schlitze und an den Drehpunkten L und N vorragende Spitzen besteckt man schließlich mit kleinen Holz- oder Korkklötzchen.

Eine neue direkte objektive Methode zur Bestimmung der Frequenz eines Schwingungskreises im Bereich bis 30000 Schwingungen pro Sekunde.

Von Dr. **Johannes Brockmöller** in Hamburg.

Prinzip der Methode: Beobachtet man im rotierenden Würfelspiegel die virtuellen Bilder zweier Glimmlichtlampen, die horizontal aufgestellt sind und in Parallelschaltung vom Schwingungskreis gespeist werden, so kann man durch Änderung des horizontalen Abstandes der Lampen die Spiegelbilder verschiedentlich zur Deckung bringen. Die Hälfte der Abstandszunahme der Lampen zueinander (von



einer Deckung der Spiegelbilder zur folgenden), der Abstand der Lampen vom Drehspiegel und die Tourenzahl des Spiegels sind die Größen, aus denen sich die Frequenz berechnen läßt.

Beschreibung der Versuchsanordnung: Der Schwingungskreis, dessen Frequenz bestimmt werden soll, enthält die Spule L_1 (Selbstinduktion) und den Kondensator C (Kapazität) und wird durch den Lichtbogengenerator B mit 220 Volt angeregt (s. Figur). D_I und D_{II} sind Drosselspulen. Durch induktive veränderliche Koppelung mit Spule L_2 wird die elektrische Schwingung den parallel geschalteten Glimmlampen G_1 und G_2 zugeführt. G_1 steht fest, G_2 sitzt auf dem Schlitten J und läßt sich gegen G_1 verschieben. Diese Verschiebung ist durch eine Marke A am Schlitten J und eine Skala K am festen Grundbrett ablesbar. Über G_1 und G_2 sind Pappzylinder mit je einem senkrechten Spalt gestülpt, die nach dem Drehspiegel S gekehrt sind. In einer Entfernung von 3 m oder mehr von den Lampen steht in gleicher Höhe ein Würfelspiegel S, dessen Spiegelflächen die Abmessungen 15×40 cm haben und der durch einen Motor M auf konstanter Tourenzahl (bis zu 10 Touren pro Sekunde) gehalten werden kann.

Ausführung eines Versuches: Nachdem die Schwingungen im Kreise $L_1 C$ eingesetzt haben, nähert man L_2 der Spule L_1, bis die Glimmlampen (110 Volt) genügend Helligkeit haben und setzt die Pappzylinder mit nach dem Spiegel S gekehrten gleichen Spalten darüber. Durch einen Motor M wird der Würfelspiegel S in konstante Rotation versetzt. Der Experimentator, der seinen Platz bei E hat, von wo aus er alles handhaben kann, sieht nun im Spiegel ein gezacktes oder wellenförmiges, eingesägtes oder gekerbtes Lichtband, jedenfalls kein gleichmäßiges. Der Spiegel löst die Schwingungen. Verschiebt man nun G_2 in beliebiger Richtung, so ändert sich auch das Aussehen des Spiegelbildes. Man verschiebt nun solange, bis das Spiegelbild besonders markant

und damit auch hell erscheint; dann hat man beide Spiegelbilder zur Deckung gebracht. Diese Stellung ist leicht zu finden und wird durch A und B festgelegt. Jetzt schiebt man G_2 von G_1 weg und beobachtet, bis wieder dasselbe Bild im Spiegel erscheint. Bei dieser zweiten Stellung, in der wieder eine Deckung der Bilder stattfindet, wird abermals bei A und K abgelesen. Die Horizontalverschiebung v der Lampen für zwei aufeinanderfolgende Deckungen der Spiegelbilder ist damit festgelegt. Jetzt wird der Abstand a der Lampen von S gemessen und die Tourenzahl t des Spiegels S. Durch eine einfache Überlegung folgt dann die Frequenz

$$F = \frac{4 \cdot a \cdot \pi \cdot t}{v}.$$

Die niedrigen Frequenzen, also die Tonfrequenzen, wurden durch Stimmgabel und Monochord kontrolliert. Die Werte, die sich ergaben, sind in folgender Tabelle zusammengefaßt.

a cm	v cm	t	$F = \frac{4 a \pi t}{v}$	Monochord
315	18,8	2,62	551	558
330	12,0	2,1	726	715
120	7,2	2,66	560	568
330	5,3	2,33	1 310	1 290
315	1,7	4,525	10 580	10 400
406	1,8	4,8	13 600	—
6,5	2,0	7,3	29 800	—

Der durchschnittliche Versuchsfehler dieser Methode in den Tonfrequenzen beträgt etwa 1,5 %.

Allgemeines: Zu meinen Versuchen benutzte ich Glimmlampen für 110 Volt Spannung, deren eine Elektrode als Glocke und deren andere Elektrode als kleinere darüberliegende Glocke ausgebildet war. Bei niedrigen Frequenzen kann man diese Lampen ohne Pappzylinder benutzen.

Verwendet man Papierkondensatoren für die Versuche in tiefster Tonfrequenz bis etwa 100, wie ich sie erzielte, so schalte man immer drei in Reihe und dann diese Reihengruppen etwa parallel; die Kondensatoren werden beim Versuch heiß und schlagen sonst durch.

Für das Einsetzen der Schwingungen ist von großer Wichtigkeit, daß die Kapazität der Selbstinduktion gegenüber nicht zu klein wird und daß ferner ein gut arbeitender Lichtbogengenerator (Spiritus, Blasmagnete) vorhanden ist.

Bildet man den Würfelspiegel S kleiner und kräftiger aus und vergrößert noch den Abstand a, so lassen sich nach dem beschriebenen Verfahren, wenn auch nur subjektiv, noch höhere Frequenzen bestimmen.

Mit Hilfe dieses Verfahrens läßt sich objektiv sehr schön die Phasenverschiebung des Stromes in einem Schwingungskreis zeigen. Man koppelt induktiv, aber recht fest, einen Schwingungskreis, bestehend aus Selbstinduktion und Kapazität, mit dem Lichtbogenschwingungskreise, schaltet beide Glimmlampen dem Kondensator parallel und bringt die Bilder im Würfelspiegel zur Deckung. Wenn man jetzt durch einen Wechselschalter die eine Lampe mit den Enden der Selbstinduktion verbindet, so springt das eine Spiegelbild auf die Lücke des anderen. Das bedeutet abwechselndes Aufleuchten der Lampen oder mit anderen Worten, daß der Kondensator seine volle Spannung hat, wenn die Spule (Selbstinduktion) stromlos ist, oder umgekehrt, also die Phasenverschiebung.

Glimmlampen-Versuche.

Von Dr. H. Cassebaum in Lübeck.

Wie die verschiedenen, in den letzten Jahrgängen dieser Zeitschrift über die Glimmlampe erschienenen Mitteilungen zeigen, erweist sich diese immer mehr als ein Hilfsmittel für die verschiedenartigsten Anwendungsmöglichkeiten. Im folgenden sollen einige weitere Versuche mitgeteilt werden, wie sie sich gelegentlich anderer Versuchsreihen nebenher ergaben.

1. Wenn man zur Darlegung des unterschiedlichen Verhaltens von Gleich- und Wechselstrom gegenüber demselben Stromkreise diesen derartig geschaltet hat, daß man schnell von der einen zur anderen Stromart übergehen kann, so dient die Glimmlampe als bequemer Indikator der jeweils benutzten Stromart, ähnlich wie sie Herr Bergmann in dieser Zeitschrift 35, 165 als „Polsucher" bei kommutiertem Gleichstrom beschrieben hat. Man schaltet parallel zum untersuchten Stromkreise eine Gleichstromglimmlampe, aber falsch gepolt, sodaß sie bei angelegter Gleichspannung den Hörern ihre allein leuchtende Stiftelektrode zukehrt, während die Pilzelektrode vom Glimmlicht frei bleibt. Legt man hingegen die Wechselspannung an, so leuchten jetzt beide Elektroden. Da aber die beiden Oberflächen sehr verschieden groß sind, läßt die Lampe bei 50 Perioden ein deutliches Flackern erkennen. Selbstverständlich kann die Glimmlampe nur dann in der angegebenen Weise als Indikator verwendet werden, wenn die benutzten Gleich- und Wechselspannungen oberhalb ihrer Zündspannung liegen.

2. Die Verwendung als stroboskopische Beleuchtungsquelle, auf die Herr Bergmann an der oben angeführten Stelle und auch Herr Henckel ein paar Seiten später hinweist, gestaltet sich besonders interessant bei Beleuchtung eines von derselben Wechselstromquelle betriebenen Frequenzmessers. Ist scharfe Resonanz zwischen der Wechselzahl und der Eigenschwingung einer der Federn vorhanden, so erscheint diese bei Beleuchtung durch Gleichstromglimmlampe in einer ihrer beiden Extremlagen fest zu stehen. Benutzt man aber eine Wechselstromglimmlampe, die also zwei gleich große Elektroden, entweder beide in Pilzform übereinander oder als Spiraldrähte ineineinander enthält, so erscheint die betreffende Feder in beiden äußersten Lagen beleuchtet. Besteht nicht vollommene Resonanz, so tritt eine Schwebungserscheinung ein; man sieht die betreffende Feder langsam auf- und abschwingen, eine Parallelerscheinung zum Überlagerungsempfang der Radiotechnik. Ist man nicht auf die unveränderliche Wechselzahl eines Netzes angewiesen, sondern kann man selber die Wechelzahl regeln, so ergeben sich reizvolle Erscheinungen beim An- bzw. Auslaufenlassen des Umformers.

3. Wie Herr Bergmann des Näheren ausgeführt hat, setzt bekanntlich die Glimmentladung erst bei einer Minimalspannung ein, die bei den einzelnen Glimmlampentypen verschieden ist. Wenn aber die Entladung einmal eingeleitet ist, so kann sie durch eine geringere Spannung weiter unterhalten werden. Diese Tatsache hat zur Folge, daß die Glimmlampe beim Betriebe mit Wechselstrom scheinbar schon auf eine geringere Spannung anspricht als bei Gleichstrom, da ja die Spannungsmesser die effektive Spannung anzeigen, während für die Glimmlampe die Scheitelspannung maßgebend ist. Es ließe sich demnach aus einer Reihe von Glimmlampen von verschiedener Zündspannung ein Scheitelspannungsmessser bauen. Bei den unter 2. beschriebenen Versuchen wird das Bild der mitschwingenden Zunge des Frequenzmessers um so schärfer ausfallen, je weniger der Maximalwert der angelegten Wechselspannung die Zündspannung der Lampe überragt. Stets aber wird der innere Rand des Bildes weniger scharf erscheinen als der äußere, da die Lampe bei sinkender Spannung die zurückgehende Feder länger beleuchtet als die hinausschwingende Feder bei steigender Spannung.

4. Eine der schönsten Anwendungen der Glimmlampe dient dem Nachweis des Extrastromes. Steht eine genügend große Selbstinduktion, etwa die Sekundärspule eines technischen Meßtransformators zur Verfügung, so kann man durch eine parallel geschaltete Glimmlampe nicht nur das Vorhandensein, sondern auch die entgegengesetzten Richtungen des Schließungs- und Öffnungs-Extrastromes nachweisen. Sobald die Gleichspannung, die natürlich oberhalb der Zündspannung liegen muß, unter Vorschaltung eines geeigneten Widerstandes an die Selbstinduktion angelegt wird, leuchtet die parallel liegende Glimmlampe für einen Augenblick auf, da der Scheinwiderstand der Spule gegenüber dem angeschalteten Ohmschen Widerstand so groß ist, daß fast die gesamte Spannung an der Spule bzw. Lampe liegt. Hat der Strom aber erst seinen vollen, dem Ohmschen Widerstande der Selbstinduktionsspule entsprechenden Wert erreicht, so kommt auf die Spule nur ein so geringer Spannungsabfall, daß er zum Ansprechen der Lampe nicht mehr ausreicht. Beim Abschalten der Spannung bleibt der aus dem zusammenstürzenden magnetischen Kraftfeld in den Leiter zurückkehrenden Energie nur noch der Weg durch die Glimmlampe offen, die nunmehr aber in umgekehrter Richtung durchlaufen wird, was sich durch das Aufleuchten der anderen Elektrode bemerkbar macht.

Reaktionsgeschwindigkeit und Massenwirkungsgesetz im chemischen Unterricht.

Von Dr. **Ernst Hils** in Berlin-Grunewald.

Wenn man der allgemeinen Chemie im Schulunterrichte einigen Raum gewähren will, dann werden die Gesetze der Reaktionsgeschwindigkeit und der chemischen Massenwirkung sicherlich mit in erster Linie Erwähnung finden. Sind sie doch die theoretischen Grundlagen der chemischen Kinetik und findet doch eine Fülle von Erscheinungen durch diese Gesetze ihre Erklärungen. Die Behandlung dieser chemischen Gesetze ist in der Schule aber erschwert, einmal in theoretischer Hinsicht dadurch, daß ihre strenge Behandlung Infinitesimalrechnung und die Bekanntschaft mit dem zweiten Hauptsatz der Wärmetheorie voraussetzt, sodann ist man bei den Versuchen gezwungen, da es sich um Feststellungen von Konzentrationen handelt, quantitative Bestimmungen vorzunehmen, eine Sache, die für einen Demonstrationsversuch im allgemeinen sehr wenig geeignet ist.

Im folgenden soll nun eine Reihe von Versuchen zusammengestellt werden, die das Walten dieser Gesetze deutlich vor Augen führen und dabei in ihrer Ausführung auf die Bedingungen des Schulunterrichtes Rücksicht nehmen. Diese Versuche können sowohl als Demonstrationsversuche dienen, als auch in Übungen Stoff für Schülerarbeiten bieten (s. a. Mannheimer, Schülerversuche über Reaktionsgeschwindigkeit, diese Zeitschr. **34**, 118). Als methodische Studie, ferner zum besseren Verständnis und zur einfacheren Beschreibung der Versuche, sei es mir gestattet, in kurzer summarischer Weise anzuführen, wie ich mir, ohne auf eine strenge Ableitung einzugehen, eine Plausibelmachung der Gesetze im Unterricht denke. „Der Verzicht auf eine strenge Ableitung ist um so leichter in Kauf zu nehmen, als diese Gesetze ihren eigentlichen Beweis haben in der Fülle der Tatsachen, die teils ohne sie unverständlich bleiben würden, teils an ihrer Hand erst entdeckt worden sind" (Nernst, Theor. Chemie).

A. Die Reaktionsgeschwindigkeit.

a) Theoretische Erörterung.

Es seien in einer Lösung oder einem Gasgemische zwei Stoffe mit Molekülen (oder Ionen) der Art A und B vorhanden, durch deren Aufeinanderwirken eine

Reaktion zustande kommt nach der Formel:

$$A + B = C + D.$$

Diese Reaktion wird eintreten, wenn ein Molekül A mit einem Molekül B in geeigneter Weise zusammentrifft; die Reaktionsgeschwindigkeit v wird also proportional der Wahrscheinlichkeit sein, mit der ein Molekül A und B zusammentreffen. Diese Wahrscheinlichkeit ist natürlich abhängig von der Anzahl der Moleküle im Kubikzentimeter, d. h. von der Konzentration c_A und c_B und berechnet sich also wie für den folgenden Fall: Aus einer Urne, die sehr viele schwarze Kugeln n_1 und sehr viele rote Kugeln n_2 enthält, gleichzeitig zwei Kugeln, von denen eine eine schwarze, die andere eine rote ist, zu ziehen:

$W = \frac{n_1 \cdot n_2}{\binom{n_1 + n_2}{2}} = k \cdot n_1 \cdot n_2$, also die Reaktionsgeschwindigkeit $v = k \cdot c_1 \cdot c_2$ (k ein Proportionalitätsfaktor). Geht die Reaktion nach der Formel vor sich: $2A + B = C + D$, so berechnet sich die Reaktionsgeschwindigkeit ebenso wie die Wahrscheinlichkeit des Falles: aus oben angeführter Urne gleichzeitig zwei schwarze und eine rote ziehen:

$$W = \frac{\binom{n_1}{2} \cdot \binom{n_2}{1}}{\binom{n_1 + n_2}{3}} = k \cdot {n_1}^2 \cdot n_2 \text{ (da } n_1 \text{ eine sehr große Zahl)},$$

also die Reaktionsgeschwindigkeit für diese Reaktion: $v = k \cdot {c_1}^2 c_2$.
Allgemein für die Reaktion $q_1 A + q_2 B + \ldots = p_1 C + p_2 D + \ldots$ läßt sich schreiben

$$v = k \, {c_A}^{q_1} \cdot {c_B}^{q_2} \ldots .$$

Die Benutzung der Wahrscheinlichkeit mag vielleicht schwerfällig erscheinen und eine mehr intuitive Aufstellung dieser Formal für zweckmäßiger gehalten werden; jedoch in Rücksicht darauf, daß die Wahrscheinlichkeit zur Ableitung von Gesetzen in der modernen Physik vielfach benutzt wird, mag man verstehen, daß von jeder Gelegenheit, die Verwendung jener merkwürdigen mathematischen Größe zu zeigen, Gebrauch gemacht wird.

b) Versuche über Reaktionsgeschwindigkeit.

1. Die Versuche, die ich im folgenden beschreiben will, sollen mit hinreichender Genauigkeit erstmals zeigen, daß die Reaktionsgeschwindigkeit proportional ist der Konzentration (oder einer Potenz derselben), wobei es gleichgültig ist, welche Komponente in ihrer Konzentration geändert wird.

2. Es wird möglich sein, die Zeit, die eine Reaktion bis zu einem gewissen Grade ihres Fortschreitens braucht, vorauszusagen.

3. Es wird gezeigt die Abhängigkeit der Reaktionsgeschwindigkeit von verschiedenen anderen Faktoren. So werden wir sehen, daß die Reaktionsgeschwindigkeit sich mit der Temperatur stark ändert. Aber auch andere Faktoren, wie Adsorptionserscheinungen, Wandreaktionen, die Form der Reaktionsgefäße u. a. machen sich bemerkbar. Wir werden erkennen, daß wir es bei der Reaktionsgeschwindigkeit mit einer außerordentlich „sensiblen" Größe zu tun haben.

Um Titrationen zu vermeiden. werden zwei Reaktionen benutzt, bei denen das Erreichen eines bestimmten Umsetzungsgrades sich unmittelbar dem Auge bemerkbar macht und so die Reaktionszeit und damit die Reaktionsgeschwindigkeit mit der Stoppuhr festgestellt werden kann.

1. Die Reduktion von Silbernitrat durch Ferrosulfat. Diese Reaktion spielt in der Photographie eine gewisse Rolle (Jodsilberkollodionprozeß). Sie wird durch folgende Gleichung beschrieben:

$$Ag^{\cdot} + Fe^{\cdot\cdot} = Ag + Fe^{\cdot\cdot\cdot}, \text{ demnach } v = k \cdot c_{Ag^{\cdot}} \cdot c_{Fe^{\cdot\cdot}}$$

Die Reaktion verläuft nun nicht wie die meisten Reaktionen der anorganischen Stoffe

mit unmeßbar großer Geschwindigkeit, sondern es scheint sich erst ein bestimmter Übersättigungszustand ausbilden zu müssen (Kümmel, Photochemie), wonach das Silber in kurzer Zeit in großen Mengen ausscheidet. Zur Erreichung verschieden stark konzentrierter Lösungen wurden hergestellt, eine Lösung von $AgNO_3$ $^1/_2$ g molekular und eine ebensolche von $FeSO_4$ (kalt) in destilliertem Wasser. Aus diesen wurden mit Hilfe von Pipetten verschiedene Volumina entnommen und mit einem bestimmten Volumen destillierten Wassers vermischt. Es ist scharf darauf zu achten, daß die Durchmischung eine gute ist und ein Umschütteln oder Umrühren fortgesetzt durchzuführen ist, da sonst große Unterschiede in der Reaktionszeit auftreten können. Zu diesem Zwecke wurde auch das Verdünnungsmittel den beiden Stoffen je zur Hälfte vor dem Zusammengießen zugesetzt. Um photochemische Effekte anfangs auszuschließen, wurden die Versuche in einem Raume ausgeführt, der durch ein 16kerzige Glühlampe nur notdürftig erhellt war. Bei rotem Licht wurden keine anderen Reaktionszeiten gefunden als hier. In der nachfolgenden Tabelle I seien einige Versuchsergebnisse wiedergegeben.

Temp. 17° Tabelle I.

Versuch Nr.	Volum-Einheiten			Reakt. Zeit sec	Versuch Nr.	Volum-Einheiten			Reakt. Zeit sec
	$^1/_2$ g mol. Lösung		d) Wasser			$^1/_2$ g mol. Lösung		d) Wasser	
	a) $AgNO_3$	b) $FeSO_4$				a) $AgNO_3$	b) $FeSO_4$		
1	1	2	3	7	7	2	4	8	11
2	1	2	4	11	8	3	4	8	11
3	1	2	5	20	9	2	3	8	25
4	1	2	6	28	10	1	4	8	30
5	1	2	7	29	11	1	2	8	37
6	1	2	10	37	12	2	1	4	20

Die Konzentrationsverhältnisse berechnen sich nach folgenden Formeln: $c_a = f_1 \cdot \frac{a}{a+b+d}$ und $c_b = f_2 \cdot \frac{b}{a+b+d}$, f_1, f_2 Proportionalitätsfaktoren; die Reaktionsgeschwindigkeit zu Beginn also $v = k \cdot \frac{a \cdot b}{(a+b+d)^2}$.

Die Reaktionszeit müßte errechnet werden auf Grund des Integrals der Differentialgleichung $\frac{dx}{dt} = k(a-x)\cdot(b-x)$ (s. Nernst, Theoret. Chemie 1909, S. 556), was ja für die Schule nicht in Frage kommt. Jedoch ist es sehr lehrreich und methodisch wertvoll, in Schülerübungen mit Hilfe der Tabelle eine empirische Formel herauszuarbeiten. Man erkennt, daß die Konzentration des Eisensulfates die Reaktionszeit mehr beeinflußt, ein Zeichen, daß sie in die Formel mit einem höheren Exponenten eintreten müßte als die des Silbernitrates. Die oben angegebene Reaktionsgleichung dürfte demnach den Reaktionsverlauf nicht genau darstellen.

Es kann vorkommen, daß bei Änderung von Versuchsbedingungen, die sonst nicht ins Gewicht fallen und deshalb schwer zu beurteilen sind (Form der Gefäße, Reinheit der Gefäße, Art des Umrührens u. a.), die Reaktionszeiten absolut ganz anders ausfallen, so daß es für Demonstrationen nötig sein wird, einen Vorversuch anzustellen. Die relativen Zeiten jedoch werden stets recht gut innegehalten.

Sehr interessant ist es, die beschleunigende Wirkung des Lichtes zu verfolgen. Es ergaben sich z. B. folgende Unterschiede in der Reaktionszeit durch Veränderung der Beleuchtungsstärke:

Reaktionszeit	
im Zimmer (diffuses Tageslicht)	in der Sonne am Fenster
165 sec	90 sec
75 „	11 „

Lehrreich ist auch folgender Versuch: Man nimmt eine Lösung von einer derartigen Konzentration der Komponenten, daß eine längere Reaktionszeit im Schatten sich ergeben muß (1 bis 2 Minuten), bringt diese Lösung in einen längeren Glaszylinder und bedeckt die Hälfte des Zylinders mit lichtundurchlässigem Papier; es treten im Lichte bereits dunkle Schwaden von abgeschiedenem Silber auf, wenn der verdunkelte Teil der Lösung noch völlig farblos ist. Ich kenne keinen anderen Versuch zu dieser Art der Wirkung des Lichtes, der so übersichtlich ist und sich so bequem anstellen läßt. Ich gedenke in einer späteren Arbeit das interessante Kapitel „Wirkung des Lichtes auf die Reaktionsgeschwindigkeit" ausführlicher zu behandeln.

Der Einfluß der Temperatur auf die Reaktionsgeschwindigkeit läßt sich leicht nachweisen. Angaben über Versuchsanordnungen dürften sich erübrigen. Ich möchte hierbei nur noch als bemerkenswert hervorheben, daß dieser Temperatureinfluß außerordentlich groß ist. „Es gibt in der Tat kaum eine andere Größe, welche sich so stark mit der Temperatur ändert wie die chemische Reaktionsgeschwindigkeit; eine Erhöhung um 10 Grade pflegt sie zu verdoppeln" (W. Ostwald Werdegang einer Wissenschaft).

2. Die Abscheidung von Jod aus Jodsäure durch schweflige Säure. Diese Reaktion ist für unseren Zweck eine der interessantesten. Sie ist in Hinsicht der Bestimmung der Reaktionszeit und Reaktionsgeschwindigkeit bereits von Landolt (Sitz.-Ber. der Berl. Akad., 1885, 1887) ausführlich behandelt worden. Ich habe es bei meinen Versuchen vorteilhaft gefunden, die Jodabscheidung durch Natriumjodat und Natriumbisulfit auszuführen. Die Herstellung bestimmter Konzentrationen ist in diesem Falle leichter zu bewerkstelligen. Auch ist Natriumjodat niedriger im Preise als Jodsäure. Die Reaktionsgleichung ist etwas verwickelt, da mehrere Reaktionen nebeneinander laufen. Für unseren Zweck dürfte die Gleichung genügen:

$$5\,HSO_3' + 2\,JO_3' = 3\,HSO_4' + 2\,SO_4'' + J_2 + H_2O.$$

Die übrigen Reaktionen kommen hier nicht in Betracht, da sie „momentan" verlaufen.

Man stelle her eine Lösung von Natriumjodat $^1/_{10}$ g mol. und eine ebensolche von Natriumbisulfit, als Verdünnungsmittel nehme man Wasser, das mit etwas Stärke (1 : 200) als Indikator für abgeschiedenes Jod versetzt wird. Im übrigen verfahre man wie bei 1., sorge vor allem für gute Durchmischung.

Temp. 16° Tabelle II.

Versuch Nr.	Volum-Einheiten			Reakt. Zeit sec	Versuch Nr.	Volum-Einheiten			Reakt. Zeit sec
	$^1/_{10}$ g mol. Lösung		d) Wasser			$^1/_{10}$ g mol. Lösung		d) Wasser	
	a) $NaJO_3$	b) $NaHSO_3$				a) $NaJO_3$	b) $NaHSO_3$		
1	1	1	0	2	7	2	2	8	70
2	2	2	4	19	8	2	1	6	110
3	1	2	4	28	9	1	2	8	130
4	2	2	6	43	10	2	1	8	345
5	1	2	6	52	11	1	1	8	480
6	2	1	4	57	12	1	1	10	17 min

Die Reaktion tritt bei diesen Versuchen viel schärfer ein als bei 1., so daß man „die Uhr danach stellen könnte". Hat man vor der Stunde in einem Vor-

versuch die Reaktionszeit ermittelt, so kann man mit ziemlicher Genauigkeit ($10^0/_0$) die Zeit vorhersagen, und es wirkt geradezu überwältigend, wenn z. B. in Anlehnung an Versuch Nr. 2 mit dem „Glockenschlag“ die farblose Lösung sich in ihrer Gesamtheit plötzlich blau färbt. Noch überraschender ist vielleicht Versuch Nr. 12, doch können sich hierbei immerhin Differenzen von Minuten ergeben. Die Tabelle zeigt, daß Natriumbisulfit die Reaktion mehr beschleunigt als Natriumjodat, eine Erscheinung, die nach der Reaktionsgleichung auch zu erwarten war.

Interessant ist ferner die Beeinflussung der Reaktionsgeschwindigkeit durch die Anwesenheit gewisser Stoffe (Säuren, Gifte), siehe Zenghelis, Chemische Vorlesungsversuche, diese Zeitschr. **24**, 138, 139.

B. Das Massenwirkungsgesetz.

a) Theoretische Erörterung.

Wir stellen uns auf den Standpunkt, daß jeder chemische Vorgang umkehrbar ist (Nernst, Theor. Chemie) und schreiben die Formel eines chemischen Vorganges in der Form: $A + B \rightleftarrows C + D$.

Die Reaktionsgeschwindigkeit der linken Seite ist dann gegeben durch die Formel $v_1 = k_1 \cdot c_A \cdot c_B$, die der rechten Seite durch $v_2 = k_2 \cdot c_C \cdot c_D$. In dem Maße wie die Reaktion von links nach rechts fortschreitet, nimmt c_A und c_B ab, dagegen c_C und c_D zu. Es muß sich schließlich für eine bestimmte Temperatur ein dynamischer Gleichgewichtszustand (Guldberg und Waage) herausbilden, bei dem $v_1 = v_2$ ist. Hieraus folgt: $k_1 c_A \cdot c_B = k_2 c_C \cdot c_D$

$$K = \frac{c_A \cdot c_B}{c_C \cdot c_D} \text{ oder allgemein } K = \frac{{c_A}^{q_1} \cdot {c_B}^{q_2}}{{c_C}^{p_1} \cdot {c_D}^{p_2}}.$$

Vermehrt man nach Eintreten des stationären Zustandes eine der Größen c, so muß, damit K, die Gleichgewichtskonstante, konstant bleibt, mindestens eine der anderen Größen c sich entsprechend ändern.

b) Versuche zum Massenwirkungsgesetz.

Versuche, die darauf hinzielen, die Gleichgewichtskonstante zahlenmäßig zu bestimmen, sind recht schwierig; schon deshalb, weil im allgemeinen zur Bestimmung der Konzentration einer Komponente diese aus der Lösung entfernt werden muß, was nun gemäß dem Massenwirkungsgesetz zu Konzentrationsänderungen der übrigen Komponenten führen wird; doch siehe Rischbieth, Bestimmung der Gleichgewichtskonstanten der Wassergasgleichung (diese Zeitschr. **35**, 28) und Groh-Hári, Allgem. Chemie 23, 173. — Im folgenden soll nur die am Schluß von a) theoretisch abgeleitete Folgerung durch Versuche als richtig bewiesen werden.

1. Die oben benutzte Reaktion:

$$Ag^{\cdot} + Fe^{\cdot\cdot} \rightleftarrows Ag + Fe^{\cdot\cdot\cdot}; \; K = \frac{[Ag^{\cdot}][Fe^{\cdot\cdot}]}{[Fe^{\cdot\cdot\cdot}]}.$$

Man nehme gemäß Tabelle I ein Mischungsverhältnis $a : b : d = 1 : 1 : 2$. Der Niederschlag von Silber wird abfiltriert, das Filtrat teile man in drei Teile.

a) Vermehrung der Konzentration von $Ag^{\cdot}$. — Man setze zu dem klaren Filtrat $AgNO_3$, es erfolgt wiederum ein Niederschlag von Silber.

b) Vergrößerung der Konzentration von $Fe^{\cdot\cdot}$. — Man setze zu dem zweiten Teile $FeSO_4$, es fällt wiederum Silber in Form von Ag_2SO_4 aus (Spitzglas nehmen).

c) Vergrößerung der Konzentration von $Fe^{\cdot\cdot\cdot}$. — Man gieße zu der trüben Aufschwemmung b) Ferrisulfat, die Lösung wird wieder klar, da Ag wieder in Lösung geht.

d) Verminderung der Konzentration von Fe'''. — Man entfernt die Fe'''-Ionen aus der klaren Lösung durch Zusatz von Kaliumoxalat. Ag fällt in Massen aus.

2. Man benutze die Reaktion:

$$Na_2CO_3 + H_2S \rightleftarrows H_2O + CO_2 + Na_2S;\ K = \frac{[Na_2CO_3]\cdot[H_2S]}{[CO_2]\,[Na_2S]}$$

(Diels, Anorg. Exp. Chemie).

a) Vermehrung der Konzentration von H_2S; es wird CO_2 frei.

Durch zwei hintereinander geschaltete Kölbchen, von denen das eine eine Lösung von Natriumbicarbonat, das andere Barytwasser enthält, leitet man H_3S hindurch: Abscheidung von Bariumcarbonat.

b) Vermehrung der Konzentration von CO_2; es wird Schwefelwasserstoff frei.

Durch zwei Kölbchen, von denen das eine eine wässerige Lösung von Na_2S, das zweite eine solche von Bleinitrat enthält, leitet man einen kräftigen Strom von CO_2; es scheidet sich schwarzes Schwefelblei ab.

3. Ich weise auf die Reaktion hin:

$$2\,AsCl_3 + 3\,H_2O \rightleftarrows 6\,HCl + As_2O_3;\ K = \frac{[AsCl_3]^2}{[HCl]^6\,[As_2O_3]}.$$

Sie ist in der Schulliteratur im Zusammenhang mit dem Massenwirkungsgesetz bereits erwähnt (Levin, Lehrbuch d. Chemie u. Min. II).

a) Verringert man die Konzentration von $AsCl_3$ dadurch, daß man viel Wasser zusetzt, so verringert sich auch die von As_2O_3, indem dieser Stoff als kristallinischer Niederschlag ausscheidet.

b) Vermehrt man die Konzentration von HCl durch Zusatz von starker Salzsäure, so löst sich der Niederschlag wieder auf, da $AsCl_3$ zurückgebildet wird.

Mikrochemische Reaktionen im Unterricht.

Von Prof. Dr. P. Rischbieth in Hamburg.

Wenn man gelegentlich im chemischen Unterricht charakteristische Niederschläge, etwa das Kaliumchloroplatinat oder Uranylnatriumacetat unter dem Mikroskop zur Anschauung bringt, so beobachtet man ein lebhaftes Interesse der Schüler für diese Dinge. Es ist ja auch nicht verwunderlich, daß die scharfgeschnittenen, ringsum ausgebildeten, oft gefärbten und lebhaft glänzenden Kristalle den Primaner weit mehr anziehen als Niederschläge im Probierröhrchen, an denen außer der Farbe oft kaum zu sehen ist, ob sie kristallinisch oder amorph sind. Schon die rein kristallographischen Beobachtungen an solchen mikroskopischen Niederschlägen sind wertvoll: man lernt die Erscheinungsformen der Kristalle in den verschiedensten Lagen kennen, man erkennt Kombinationen und kann aus der Zone häufig das allgemeine Zeichen der Form erkennen. In überraschend vielen Fällen macht sich Zwillingsbildung bemerkbar, und nicht selten ist der einspringende Winkel zu messen. Die Erscheinung der Hemimorphie kann an den Kristallen des phosphorsauren Doppelsalzes mit Leichtigkeit beobachtet werden, wenn man durch einen kleinen Kunstgriff für die Entstehung größerer und dickerer Kristalle sorgt. Ist die Sammlung im Besitze eines Mikroskopes mit Polarisationseinrichtung und Fadenkreuz, so wird die Anzahl der zu machenden kristallographischen Beobachtungen sehr erhöht, und man kann schon gelegentlich einfachere Kristalldiagnosen durch Winkelmessung vornehmen.

Von außerordentlicher Schönheit sind die einem größeren Kreise mit Hilfe eines Mikroprojektionsapparates zu zeigenden Lichtbilder solcher Niederschläge. Es ist hierbei nicht nötig, die betreffenden Präparate vor dem Unterricht herzustellen, umständlich

weiterzubehandeln, ja auch nur mit einem Deckglase zu bedecken. Vielmehr entstehen in den meisten Fällen bei richtiger Konzentration der Reagenzien die Niederschläge fast momentan und können sofort ohne Deckglas projiziert werden. Aus der großen Zahl der für den Unterricht verwertbaren Reaktionen will ich im folgenden einige hervorheben, die sich sowohl für den Übungsunterricht wie auch für die Projektion eignen.

Natrium- und Lithium-Uranylacetat.

Versetzt man eine konzentrierte Lösung von Uranylacetat mit der Lösung eines Natriumsalzes, so entsteht sogleich oder nach einiger Zeit ein charakteristischer Niederschlag von lichtgrünen Tetraedern von hohem Glanze. Es ist das Doppelsalz $Na(UO_2)(C_2H_3O_2)_3$, das durch diese Eigenschaften zur Erkennung des Natriums überall angewandt wird. Es scheint aber wenig oder gar nicht bekannt zu sein, daß

Fig. 1. $NaUO_2(C_2H_3N_2)_3$.

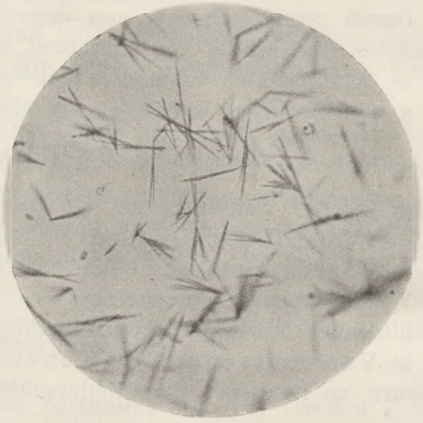


Fig. 2. $CaSO_4$, $2\,H_2O$

Lithium ein dem Natriumsalze so ähnliches Doppelsalz gibt, daß beide nicht von einander zu unterscheiden sind. Das Lithiumdoppelsalz ist nur löslicher. Es spricht sich in diesem Verhalten die nahe Verwandtschaft dieser beiden Metalle aus, die auch aus dem periodischen System ersichtlich ist, in dem sie bekanntlich unmittelbar übereinander stehen (Fig. 1).

Isomorphie von Sulfaten und Seleniaten.

Auf einen Objektträger bringt man mit dem Platinhäkchen nebeneinander zwei Tröpfchen verdünnter Calciumchloridlösung, setzt zu dem einen etwas verdünnte Schwefelsäure, zu dem anderen Selensäure (aus SeO_2-Lösung durch Einleiten von Chlor in die warme Lösung bereitet). Es entsteht Gips in Form schlanker, teils einzelner, teils zu Büscheln angeordneter Nadeln und Calciumseleniat in Form dicker Nadeln und Prismen, an denen man oft die einspringenden Winkel der für den Gips charakteristischen Zwillinge erkennt. Der einspringende Winkel sitzt am Ende der Prismen (Fig. 2).

Isomorphie von Phosphaten und Arseniaten.

Man mischt in zwei Tröpfchen auf einem Objektträger geringe Mengen der Lösung von Magnesiumsulfat, Ammoniumchlorid, Ammoniak und Natriumphosphat einerseits und Arsensäure oder Natriumarsenat anderseits. Die charakteristischen federförmigen Kristallaggregate sind zum Verwechseln ähnlich. Deutliche hemimorphe Kristalle mit Basis und zwei Domen, die dachig oder sargdeckelartig aussehen, erhält man, wenn einer Lösung von Magnesiumsulfat, Ammoniumchlorid und Natriumphosphat auf dem Objektträger ein Körnchen Ammoniumchlorid zugesetzt wird. Durch Hydrolyse entsteht örtlich eine zur Zurückdrängung der H-Ionen genügende Menge Ammonion.

Isomorphie von Antimon- und Wismutsalzen.

Die prachtvollen Kristalle von Cäsiumjodo-Stibit bzw. Bismutit erhält man leicht nebeneinander auf dem Objektträger, wenn man zu je einem Tropfen salzsaurer Antimon- und Wismutlösung etwas starke NaJ-Lösung und am Rande ein Kriställchen Cäsiumchlorid setzt. Von dem, um den Kristall herum sofort entstehenden Niederschlage aus, bilden sich in kurzer Zeit prachtvolle rote, anscheinend hexagonale Tafeln, die aber in Wirklichkeit rhombische Zwillinge sind. Die Reaktion gehört zu den schönsten der Mikrochemie (Fig. 3).

Die Serie der Tripelnitrite.

Kalium, Rubidium, Cäsium, Thallium, Kupfer, Blei und salpetrige Säure lassen sich noch in äußerster Verdünnung durch die Verbindung $M_2CuPb(NO_2)_6$ nachweisen, worin M eines der obigen vier ersten Metalle sein kann. Von einer ziemlich konzentrierten

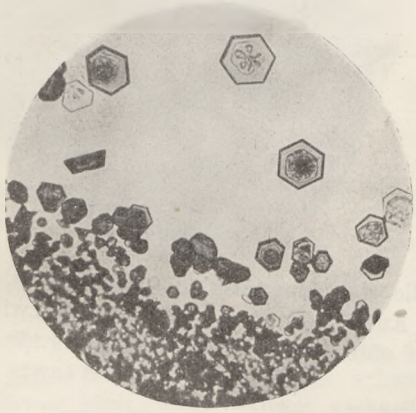


Fig. 3. $C_2SbCl_5 + 2^1/_2 H_2O$.

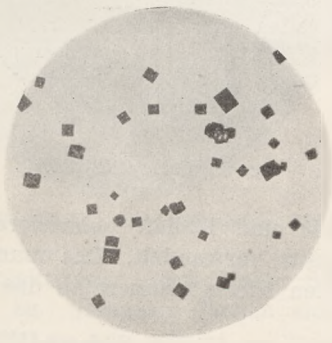


Fig. 4. $Tl_2CuPb(NO_2)_6$.

Lösung von Kupferacetat, Bleiacetat und Natriumnitrit, die mit Essigsäure angesäuert ist, bringt man nebeneinander vier Tröpfchen auf einen Objektträger und setzt diesen der Reihe nach eine kleine Menge K-, Rb-, Cs- und Tl-Lösung hinzu. Sofort oder sehr bald entstehen die fast schwarzen Würfel oder kurzen dicken quadratischen Prismen, die K noch in einer Menge von 3.10^{-9} g erkennen lassen, d. h. in dem Verhältnis $K : H_2O$ wie 12 cm zu der Länge des Erdäquators. Ganz ebenso läßt sich das ähnliche Verhalten oder die „Verwandtschaft" der obigen Alkalimetalle durch die Reihe der Chloroplatinate dartun. Mit abnehmender Löslichkeit werden die Kristalle kleiner, erscheinen aber schneller. Thalliumchloroplatinat erscheint noch in sehr verdünnter Lösung momentan als feiner Kristallstaub (Fig. 4).

Die Reihe der Doppelrhodanide.

Cadmium, Zink, Kupfer und Kobalt bilden mit Quecksilberchlorid und Rhodanammonium Doppelsalze von der Formel $M^{II}Hg(CNS)_4$, die durch schöne Kristallformen und zum Teil lebhafte Farben ausgezeichnet sind. Aus diesem Grunde kann man mit Leichtigkeit Mischkristalle herstellen, die dann Zwischen- oder Mischfarben zeigen, ganz ähnlich wie bei Mischkristallen unter den natürlichen Mineralien. Bemerkenswert ist hierbei, daß es bezüglich der Leichtigkeit der Bildung von Mischkristallen Unterschiede gibt. Versetzt man eine Mischung von Kobalt- und Kupferchlorid mit dem Rhodanquecksilber-Reagens, so entstehen meistens schwarze Kristallkugeln von Kupferrhodanid $Cu(CNS)_2$, während die eigentümlich braun gefärbten Mischkristalle des gemischten Doppelrhodanids seltener sich bilden. Zink- und Kobaltlösungen geben dagegen Mischkristalle in jedem Verhältnis (Fig. 5 u. 6).

Bildung von Gay-Lussit.

Versetzt man einen Tropfen einer $CaCl_2$-Lösung mit etwas Sodalösung, so entsteht ein amorpher Niederschlag von $CaCO_3$, der zwischen gekreuzten Nicols dunkel bleibt. Fügt man mehr Sodalösung hinzu, so erscheinen nach kurzer Zeit im dunklen Gesichtsfelde leuchtende Punkte, wie Sterne am dunklen Himmel und nach einiger Zeit und schwachem Erwärmen hat sich der amorphe Niederschlag in lauter doppelt-

Fig. 5. $CuHg(CNS)_4H_2$.

Fig. 6. $CoHg(CNS)_4H_2O$.

brechende und lebhaft polarisierende Kristalle des Doppelsalzes $Na_2Ca(CO_3)_2$, des Gay-Lussits, verwandelt. Das ununterbrochene Aufblitzen leuchtender Punkte zwischen gekreuzten Nicols erinnert an das Scintillieren eines Radiumpräparates (Fig. 7).

Schweflige und selenige Säure.

Die reduzierende Kraft der schwefligen Säure ist so groß, daß sie der selenigen Säure den Sauerstoff entreißt und rotes amorphes Selen zur Abscheidung bringt. Die Geschwindigkeit dieses Vorganges ist an und für sich gering, sie wird aber durch H-Ionen sehr beschleunigt, so daß diese Reaktion ein ausgezeichnetes Beispiel für die katalytische Wirkung der H-Ionen bietet. Zur Ausführung legt man den Objektträger mit einem Tropfen mit HCl angesäuerter seleniger Säure umgekehrt auf eine mit wässeriger schwefliger Säure angefüllte Flasche, dann erscheint — allmählich immer dichter und röter werdend und um so schneller, je saurer die Selenlösung ist — der rote Selenniederschlag.

Fig. 7. $Na_2Ca(CO_3)_2$ (Gay-Lussit).

Komplexbildung.

Setzt man zu einem Tropfen Palladiumchloridlösung etwas Ammoniak, so entsteht das Komplexsalz $Pd(NH_3)_4Cl_2$, das in langen schmalen Leisten kristallisiert. Fügt man zu der Lösung dieses Salzes Salzsäure und erwärmt, so entsteht das um zwei NH_3 ärmere Salz $Pd(NH_3)_2Cl_2$, das in charakteristischen tetragonalen braunen Kristallskeletten erscheint, durch die Palladium leicht erkannt werden kann. Während das Chlor im ersten Salze in ionogener Bindung vorhanden ist, sitzt es im zweiten fest gebunden im Komplex und kann durch Silberlösung nicht gefällt werden. Fig. 8 u. 9 zeigen dasselbe Präparat, einmal im gewöhnlichen, das andere Mal im polarisierten Licht zwischen gekreuzten Nicols.

Mikrochemischer Nachweis von Jod.

Um in der Tangasche das Jod nachzuweisen, verreibt man einige Dezigramm Tangasche mit etwas Wasser, filtriert, bringt einen Tropfen der Lösung mit einigen Stärkekörnern auf einen Objektträger und legt ihn umgekehrt auf ein Gefäß mit Bleikammerkristallen. Die nitrosen Dämpfe machen alsbald Jod frei, welches die Stärke erst violett, dann blau, schwarz und braun färbt. Es kann schließlich durch Oxydation des Jods zu Jodsäure Entfärbung eintreten.

Um das Jod im Chilisalpeter nachzuweisen, muß man erst eine größere Menge umkristallisieren, um eine an Natriumjodat angereicherte Mutterlauge zu erhalten.

Fig. 8. $Pd(NH_3)_2Cl_2$ im polarisierten Licht.

Fig. 9. $Pd(NH_3)_2Cl_2$ im gewöhnlichen Licht.

Von dieser bringt man einen Tropfen auf einen Objektträger, setzt einige Stärkekörner, etwas Salzsäure und etwas schweflige Säure zu. Langsam färben sich die Stärkekörner blau, wenn — was nicht immer der Fall zu sein scheint — Jodat im Chilisalpeter vorhanden ist.

Weitere mikrochemische Reaktionen, die sehr wohl geeignet sind, den Schüler an peinlich sauberes chemisches Arbeiten zu gewöhnen, und die in bezug auf Materialverbrauch so gut wie keine Kosten verursachen, können in fast beliebig großer Zahl aus den bekannten Lehrbüchern der Mikrochemie, wie BEHRENS-KLEY, EMICH und anderen ersehen werden.

Kleine Mitteilungen.

Bestimmung der Fallbeschleunigung beim freien Fall.

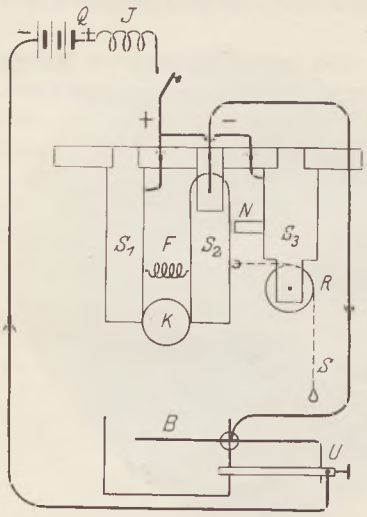
Von **J. Neuberger** † (in Freiburg i. B.).

In dem Aufsatz von MICHAELIS über Bestimmung der Fallbeschleunigung durch freien Fall (*diese Zeitschr. 1922, S. 10*) macht Herr VOLKMANN den Vorschlag, die Unterbrechung des Stromes durch die Kugel selbst zu bewirken. Da nach meiner Erfahrung jeder Elektromagnet einen unsicheren Charakter hat, so habe ich ohne einen solchen seit vielen Jahren schon g durch eine Anordnung bestimmt, welche ich nur deshalb mitteile, weil sie sich von der VOLKMANNschen, die doch wohl der Fig. 4 im oben erwähnten Aufsatz zugrunde liegt, unterscheidet und namentlich auch mit nur einem Stromkreise auskommt. Die Resultate sind sehr befriedigend und weisen auch bei meinem jetzigen Amtsnachfolger Fehler von nur 0,1 bis 0,3 % auf.

In ein Hartholzbrett, das an einem Durchzug der Lehrsaaldecke festgeschraubt ist, sind nebeneinander in einer Vertikalebene drei Messingsäulen s_1, s_2, s_3 (siehe Figur) angebracht, von denen s_1 und s_3 fest sind, s_2 an einem Scharnier in dieser Ebene abdrehbar ist. s_1 ist (wie auch Herr VOLKMANN angibt) unten etwas abgeschrägt und,

um ein Herausrutschen der Kugel aus der Vertikalebene beim Festklemmen zu vermeiden, mit einer Vertikalrinne versehen.

Zwischen s_1 und s_2 wird die Kugel durch eine Spiralfeder F festgehalten. s_3 trägt unten eine Rolle, über welche eine lange Schnur S geführt wird, die mit dem einen Ende an das Häkchen s_2 geknüpft wird und mit dem anderen Ende frei in reichbare Höhe herabhängt. Ferner ist an s_3 eine Nase N angeschraubt, deren freies Ende nur wenige Millimeter von s_2 absteht, wenn die Kugel eingeklemmt ist. Das Loslassen der Kugel erfolgt durch Ziehen an der Schnur, wobei der jetzt unterbrochene Stromweg s_1 — Kugel — s_2 durch den geschlossenen Weg s_3 — N — s_2 ersetzt wird, da ja N an s_2 gedrückt bleibt während des Falles. Die Auffangvorrichtung besteht aus einem Kästchen mit Paßstiften am Boden, welche das leichte und sichere Aufstellen auf dem Fußboden garantieren.



Die Auffangbrücke B sitzt auf dem einen Arm eines zweiarmigen Hebels aus starkem harten Messingdraht. Der andere etwas längere Arm des Hebels ist nach unten umgebogen und wird nahe am Ende leicht federnd an den mit Klemme versehenen, in der Seitenwand des Kästchens befestigten Messingstab angedrückt bei U. Dort erfolgt die zweite Unterbrechung des Stromes beim Auftreffen der Kugel auf die Brücke. Der Boden des Kästchens ist, um die Kugel zu schonen, mit Watte oder Filz bedeckt.

Man schaltet also: Stromquelle Q — Primärspule J des Induktors, Auslösungsvorrichtung an der Decke — Auffangvorrichtung — Stromquelle.

Beispiel: Fallhöhe $h = 358{,}5$ cm, Schwingungszahl n der Stimmgabel $= 127{,}5$, Zahl der Schwingungen während des Falles $= 109$, woraus $g = 981{,}1$.

Benutzte Apparate: Funkeninduktor von 5 cm Schlagweite; Trommelchronograph, überzogen mit leicht berußtem Glanzpapier, auf dem die Funken kleine deutliche Kleckse hervorrufen; Stimmgabel mit elektrischem Antrieb, der von der 12 voltigen Batterie abgezweigt wird.

Ein Demonstrations-Milliamperemeter aus einem Schalttafelinstrument.

Von **Aladár Tóth** in Pannonhalma (Ungarn).

1. Das technische Milliamperemeter ist ein Drehspulinstrument mit gleichmäßiger Skaleneinteilung, mit vorzüglicher aperiodischer Dämpfung und schneller Schwingung. Ein äußeres Magnetfeld übt praktisch genommen darauf keine Wirkung aus. Die Drehspule ist in Spitzen gelagert. Es benötigt keine Aufstellung, ist in irgendwelcher Lage, stehend, liegend oder schief, brauchbar. Es werden Milliamperemeter mit 1—2—5—10—50—100 Ω Widerstand hergestellt. Unter diesen sind mehrere zu finden, welche für Schulzwecke als Demonstrationsgalvanometer viel geeigneter sind als die in den physikalischen Sammlungen befindlichen älteren Schulgalvanometer. Einige Firmen bauen schon das Milliamperemeter in der Form eines Demonstrationsgalvanometers mit Nullpunkt in der Mitte der Skale.

Nach dem bekannten Gesetz ist der Strom in dem Galvanometer der stärkste, wenn der Widerstand des Galvanometers dem Widerstand der anderen Teile des Stromkreises gleich ist. Unsere Demonstrationsinstrumente haben meistens einen kleinen Widerstand, 1 bis 2 Ω, sogar auch noch kleineren. Also zum Demonstrieren ist das 1 Ω-Milliamperemeter das zweckmäßigste. Mit 1 Ω Widerstand aber sind

diese Instrumente auch nicht alle gleich empfindlich. Das Instrument ist das empfindlichste, welches zum vollen Ausschlag die kleinste Stromstärke verbraucht. (Wenn der Nullpunkt in der Mitte der Skale ist, rechnen wir die ganze Skale, die rechte und die linke Seite addierend.) Multiplizieren wir den Widerstand mit der Stromstärke, so können wir sagen, daß das empfindlichste Instrument die kleinste Spannung zum vollen Ausschlag verbraucht. Die Eigenschaften eines guten Demonstrationsgalvanometers sind also: schnelle Schwingung, aperiodische Dämpfung, Unabhängigkeit von Lage und äußerem Magnetfelde, minimaler Widerstand und minimaler Spannungsverbrauch.

2. Ein solches modernes und vollkommenes Instrument habe ich aus einem Schalttafelamperemeter hergestellt. Wer mit der Verfertigungsweise des Amperemeters bekannt ist, dem wird mein Verfahren verständlich sein. Die Firmen bauen nur ein typisches Drehspulinstrument, welches ein Milliamperemeter oder ein Millivoltmeter ist. Wenn wir an diesem einen Nebenschluß parallel schalten, dann können wir zu jedem beliebigen Meßbereich ein Amperemeter verfertigen. Der Shunt ist gewöhnlich in das Gehäuse eingebaut, und die Drehspule bleibt bei dieser Veränderung unberührt. Wenn wir den Shunt herausnehmen, bekommen wir das ursprüngliche Milliamperemeter.

Es waren in unserer Sammlung mehrere Schalttafelinstrumente vorhanden, welche beim Umbau unserer Elektrizitätszentrale dorthin gebracht worden sind. Alle sind Westonsche Drehspul-Instrumente. (Weston-Instrument-Company, Berlin-Schöneberg.) Unter diesen war ein Amperemeter mit 80—0—80-Einteilung mit Nullpunkt in der Mitte der Skale. Ich habe dieses Instrument zu einem Demonstrationsmilliamperemeter umgeformt. Die Westonschen Schalttafelinstrumente sind zum Schutz gegen die Magnetfelder starker Ströme in ein Eisengehäuse eingebaut. Die Skalenlänge des Instruments ist 125 mm, größter Gehäusedurchmesser 185 mm (Modell Nr. 24). Außen auf der hinteren Seite des Gehäuses ist der Shunt, noch von einer Metallplatte bedeckt, angebracht. Der Shunt bestand aus drei parallel zusammengelöteten Metallplatten. Diese mußten mit Hilfe einer Spirituslampe und eines Lötrohrs herausgeschmolzen werden. Ich habe außerdem noch einen etwa $^1/_2$ m langen Manganinwiderstand entfernt, welcher vor die Drehspule geschaltet war. Nachdem ich die Leitungsdrähte zusammengelötet hatte, habe ich das Instrument auf ein etwa 30° geneigtes Holzstativ montiert und mit Klemmschrauben versehen. Damit war das Demonstrationsmilliamperemeter fertig.

Es folgte dann die Prüfung des Instrumentes. Der Widerstand ist, nach der Hockin und Mathiessen-Methode gemessen, 0,85 Ω, also kleiner als 1 Ω. Eine Milliampereskale verfertigte ich nicht, sondern behielt die alte 80—0—80 Skaleneinteilung bei. Das Instrument habe ich mit einem HARTMANN- und BRAUNschen Präzisionsmilliamperemeter geeicht. Das Ergebnis ist folgende Tafel:

Skalenteil:	0	20	40	60	80
Milliampere:	0	4,30	8,64	12,94	17,26

Der Spannungsverbrauch für vollen Ausschlag und für ganze Skale (2×80 Skalenteile) ist nach dem Ohmschen Gesetz: $2 \cdot 17{,}26 \cdot 0{,}85 = 29{,}34$ mV. Nur wenige käufliche Demonstrations-Drehspulmilliamperemeter haben einen so kleinen Widerstand und Spannungsverbrauch.

3. Es ist nötig, daß das Milliamperemeter, obwohl es nur für Demonstrationszwecke bestimmt ist, doch auch stärkere Ströme aufnehmen kann. Dazu braucht man keinen Shunt zu kaufen, man kann solche nach Bedürfnis selbst herstellen. Man muß nur einen entsprechenden Draht zwischen die Pole des Instrumentes parallel zur Drehspule einschalten. Mit Hilfe der großen Schalttafel kann man prüfen, welche Stromstärke das Milliamperemeter mit dem Shunt aushält. Ich fand, daß das Amperemeter mit einem Stück 0,8 mm starken Konstantandraht bis 0,5 A, mit 0,8 mm starkem Kupferdraht bis 1,5 A, mit einem 1,3 mm starken Kupferdraht bis 3 A

anzeigt. Die ganze Shuntanfertigung dauert nur einige Minuten und kann vor jedem Experimente verrichtet werden. Doch ist es am zweckmäßigsten, einige solche ausprobierten Drähte bereit zu halten.

Nach vollendeter Umformung des Milliamperemeters stellte ich die zur Lehre von den elektrischen Strömen gehörigen Versuche an. Alle meine Erwartungen wurden übertroffen durch die Empfindlichkeit, Genauigkeit, Sicherheit, Schnelligkeit und Aperiodizität, mit welcher dieses Milliamperemeter arbeitet. Es ist gleich gut anwendbar für Thermoëlektrizität, Elektrolyse, Induktion, Widerstandsmessung usw. und kann in mehreren Fällen das Spiegelgalvanometer ersetzen. Seitdem machte ich das kleinohmige Westonsche Milliamperemeter bei der Demonstration der elektrischen Ströme zum Hauptinstrument. Deshalb werde ich eher ein Demonstrationsinstrument zum Milliamperemeter passend umformen, als auf die Verwendung des Milliamperemeters zu verzichten. So bin ich nur in wenigen Fällen auf ein Spiegelgalvanometer angewiesen. Andere ältere oder unbequeme Demonstrationsgalvanometer lasse ich ganz außer acht.

Über ein bequemes Röhrenschaltbrett und einige damit ausgeführte Schaltungen.

Von **F. F. Martens** in Berlin.

In seiner „Hochfreqenztechnik“ (Braunschweig bei Friedr. Vieweg & Sohn, 1925) hat der Verfasser ein Röhrenschaltbrett beschrieben. Die folgende Fig. 1 stellt eine verbesserte Form des Gerätes dar. Der untere Teil des Brettes trägt (wie früher) vier Klemmen, die zur Anlegung der Gleichspannungsstufen und zum Parallelschalten verschiedener Bretter dienen. Der Heizstrom durchläuft einen kleinen Kurbelwiderstand und die Glühkathode K der Elektronenröhre. Die Glühfadenspannung wird durch einen ansteckbaren Spannungsmesser bestimmt; ein Druckknopf an letzterem ermöglicht es, die Spannung der Anodenbatterie zu messen. Schaltbretter ohne Spannungsmesser halte ich für unbrauchbar, ebenso wie den Ersatz der Anodenbatterie durch ein Gleichspannungsnetz.

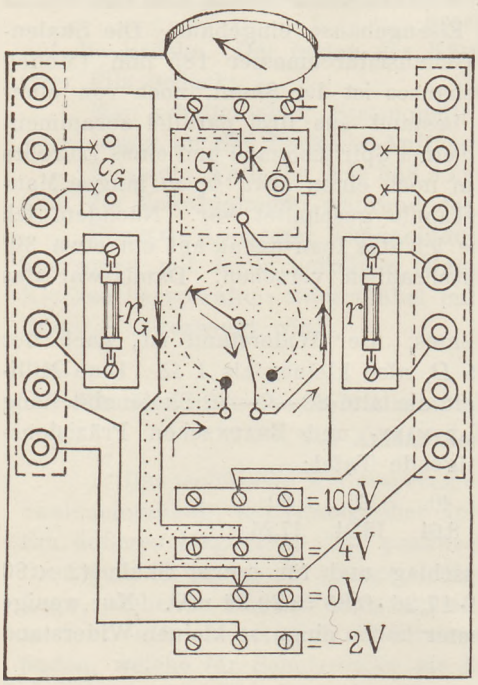


Fig. 1.

Auf beiden Seiten des Brettes sind jetzt je 7 Schraubklemmen angeordnet, die zum Festschrauben von Leitungsdrähten und zur Aufnahme von Bananensteckern geeignet sind. Die beiden kleinen Kondensatoren c_G und c haben in der Regel eine Kapazität von etwa 2200 $\mu\mu$F (etwa 2000 cm). Der Gitterwiderstand (Gitterableitung) r_G hat 1 bis 2 MΩ, der Anodenwiderstand r in der Regel 0,2 MΩ.

Mit einem solchen Röhrenschaltbrett lassen sich leicht und schnell folgende Schaltungen herstellen.

Fig. 2 zeigt einen Röhrendetektor, der ohne Anodengleichspannung arbeitet. Modulierte, hochfrequente Schwingungen in dem punktierten Schwingungskreis rufen mittelfrequenten hörbaren Wechselstrom im Kopfhörer K hervor.

Fig. 3 zeigt einen Gleichrichter, der (mit Anodengleichspannung) modulierte, hochfrequente Schwingungen in dem punktierten Schwingungskreis im Kopfhörer K hörbar macht.

Fig. 4 zeigt einen Schwinggleichrichter. Der hochfrequente Anteil des Anodenstromes durchfließt die Spule 2 und eine Kapazität (*c* in Fig. 1). Der mittelfrequente Anteil und der Gleichstromanteil des Anodenstromes fließen durch den Kopfhörer *K* direkt zur Anode. Die genannten Stromwege (2 und I) sind parallel geschaltet. Dies hat den Vorteil, daß man *K* durch einen Widerstand (*r* in Fig. 1) ersetzen und die mittelfrequente Anodenspannung des ersten Rohres (über einen Schutzkondensator) an das Gitter einer zweiten Röhre legen kann. Die zweite

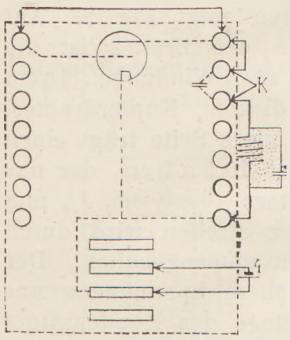


Fig. 2.

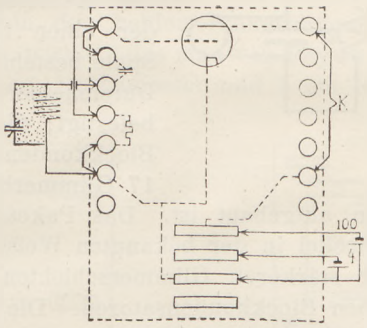


Fig. 3.

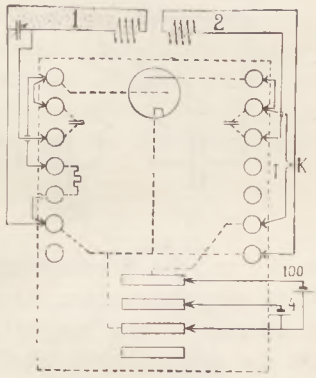


Fig. 4.

Röhre bildet dann einen Niederfrequenzverstärker, in dessen Anodenkreis II z. B. ein Lautsprecher liegen kann. — Der Schwingungskreis 1, dessen modulierte hochfrequente Schwingungen hörbar gemacht werden sollen, ist mit dem Kreise 2 magnetisch gekoppelt. Die Koppelung wird so eingestellt, daß die Röhre 1 sich an der Grenze der Sendefähigkeit befindet. — Für mehrere Bretter wird natürlich nur ein Spannungsmesser gebraucht.

Die Einzelteile zu obigen Geräten und Anordnungen beziehe ich von Dr. FRIEDRICH MOELLER & Co., Berlin-Neukölln, Kaiser-Friedrich-Straße 237.

Anzeigegeräte für schnelle elektrische Schwingungen.

Von **P. Nickel** in Berlin.

Zum Nachweis und zur Messung von hochfrequenten Wechselströmen lassen sich eine Reihe von Instrumenten und Versuchsanordnungen für Schulzwecke leicht herstellen, die zur Zeit in Lehrmittelhandlungen noch nicht zu haben sind. Um schnelle Schwingungen zu erhalten, seien beispielsweise aus der Hochspannungsspule eines Funkeninduktors eine Funkenstrecke und ein daran geschalteter geschlossener Schwingungskreis, bestehend etwa aus einer Leydener Flasche und einer Spule (6 bis 8 Windungen von 13 cm Durchmesser; primäre Teslaspule), gespeist. Die gedämpften Wechselströme mit ungefähr 200 bis 300 m Wellenlänge, die in dem Schwingungskreis laufen, lassen sich schon durch eine Glühlampe (110 Volt, Metalldraht), welche man in den Kreis einschaltet, nachweisen. Da die Lampe wegen ihres Widerstandes die Strömung ziemlich dämpft, so ändert die Funkenstrecke stark ihren Charakter. Will man die hohen Verluste im Schwingungskreis vermeiden, so muß man die Lampe in den Nebenschluß zu einem Teil der Selbstinduktion (es genügt $^1/_2$ bis 1 Windung) legen. Die Spannung am Kondensator läßt sich zeigen schon dadurch, daß man die Anschlußleitung ein wenig von der Belegung entfernt, es entsteht dann eine kleine Funkenstrecke. Auch ein Elektroskop, mit einer Belegung verbunden, zeigt einen Ausschlag. Das bekannteste Mittel zum Nachweis der Wechselspannung im Kreis ist eine Geißlersche Röhre oder ein Teslarohr, die, in die Nähe des Kreises gebracht,

kräftig aufleuchten. Sehr gute Dienste leistet wegen bequemer Montierung eine Glimmlichtlampe, die in den Geschäften für elektrische Bedarfsartikel zu haben ist (2 Mk.).

Der an die Funkenstrecke angeschaltete Kreis *I* übt eine kräftige Induktionswirkung auf einen in seine Nähe gebrachten Kreis *II* aus (Fig. 1). Schon wenn man einen Drahtkreis (1 bis 6 Windungen von 12 cm Durchmesser), der durch eine Glühlampe geschlossen ist, an die Spule heranbringt, kommt der Faden der Lampe zum Glühen. Zur bequemen Handhabung kann man diesen Kreis auf einem Brett von 1 cm Stärke befestigen, das mit einem Handgriff versehen ist. Die Form und Abmessungen zeigt Fig. 2. Auf der einen Seite des Brettes ist die Spule, bestehend aus 4 Windungen (13 cm Durchmesser) dicken Kupferdrahtes, befestigt; die andere Seite trägt einen Blockkondensator 10,5 × 7 cm, der aus 17 Glimmerblättern (6 × 8 cm, $^1/_2$ mm stark) und 16 Stanniolstreifen aufgebaut ist. Das Paket der Streifen wird durch einen aufgeschraubten Metalldeckel in der bekannten Weise zusammengehalten. Der Kondensator hält wegen der stärkeren Glimmerschichten höhere Spannungen aus als die gewöhnlichen käuflichen Blockkondensatoren. Die Belege des Kondensators sind mit einer auf das Brett geschraubten Glühlampenfassung (Illuminationsfassung) verbunden, die eine Glimmlichtlampe oder eine dünndrähtige Metalldrahtlampe aufnehmen kann.

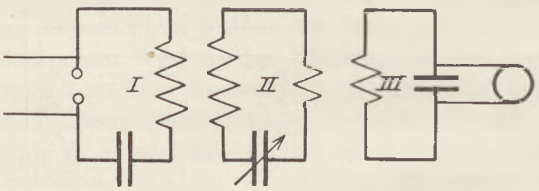


Fig. 1.

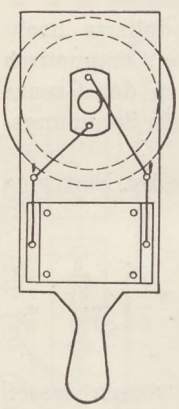


Fig. 2.

Dieser Kreis ist nicht abstimmbar, er führt, in die Nähe des Kreises *I* gebracht, erzwungene Schwingungen aus, die sich durch Aufleuchten der Lampe bemerkbar machen; er läßt sich aber auch abstimmbar einrichten, wenn statt des festen ein Drehkondensator auf dem Brett befestigt wird. Wegen der Handlichkeit empfiehlt sich ein flacher Glimmerdrehkondensator, den man sich selbst herstellen kann, indem man unter Zwischenfügung von zwei kreisrunden Glimmerstücken ein halbkreisförmiges dünnes Messingblech zwischen zwei Halbkreisen aus dünnem Blech verstellbar einrichtet. Spannungsanzeiger wie die Glimmlichtlampe, die wenig Energie aus dem Kreis entnehmen und daher auch die Abstimmung wenig beeinflussen, kann man auch hier an die Pole des Kondensators legen. Statt der großen Neonlampe läßt sich ein kleines Röhrchen, 5 cm lang, verwenden, wie es Goetze, Leipzig, Nürnbergerstr. für 5 Mk. liefert; es ist empfindlicher als die Heliumröhrchen, die früher gebraucht wurden. Stromanzeiger wie z. B. Taschenlampenbirnen, die etwas mehr Energie verzehren, legt man in den Nebenschluß zu einer oder mehreren Windungen der Spule. Die Anzeigegeräte sprechen am stärksten an, wenn Kreis *II* in Resonanz mit Kreis *I* kommt.

Es ist nun nur noch ein kleiner Schritt von diesem abstimmbaren Aufnahmekreis bis zum Wellenmesser, der, mit einem 300—1000 cm Drehkondensator und einem Spulensatz für verschiedene Meßbereiche ausgestattet, genauere Angaben über die Schwingung zu machen erlaubt (siehe diese Zeitschrift 1924, Heft 4, S. 248). An Stelle der Glühbirne als Resonanzanzeiger für Demonstrationszwecke tritt für Messungen ein Hitzdrahtwattmeter. Man erhält bei Hartmann & Braun einen „Hochfrequenz-Hitzdraht-Selbstverbrauchs-Anzeiger“ mit 140 oder 165 mm Grundplattendurchmesser und einem Meßbereich 0 bis 1 × $^1/_{10}$ Watt für etwa 100 Mk. Sehr gut sind auch die kleinen, wohlfeilen Hitzdrahtstrommesser 0 bis 4 bezw. 0 bis 5 Amp. (Durchmesser 65 mm) zu brauchen, die aus alten Militärapparaten stammen. Sie lassen sich mit der Aufnahmespule in Reihen schalten, da sie mit einem Nebenschluß aus stärkerem Draht ausgerüstet sind, den man zwecks Umeichung des Instrumentes

abnehmen oder durch einen anderen ersetzen kann. Bei der Verwendung der Hitzdrahtstrommesser ist stets Vorsicht geboten, da sie gegen Überlastung sehr empfindlich sind.

Stehen nur wenig Geldmittel zur Verfügung, so kann man sich mit geringer Mühe eine Thermoelement- oder eine Bolometeranordnung anfertigen. Auf einem Brett 13×24 cm (Fig. 3) werden ein Blockkondensator $C = 5000$ cm, ein Thermoelement und 2 Drosselspulen D mit den nötigen Klemmen und Verbindungen montiert. Das Thermoelement wird hergestellt, indem man in ein Streifchen Turbonit oder Hartgummi (2×6 cm) in 2 cm Abstand 2 Kupferdrahtstücke von 2 mm Stärke einsenkt, die Enden ein wenig mit dem Messer einkerbt und nun das Thermoelement, welches aus 0,03 mm starkem Konstantan- und ebenso starkem Kupferdraht besteht, durch einen Tropfen Lot in den beiden Einkerbungen festlegt. Besser würde ein Thermoelement im Vakuum wirken, das man von Phywe beziehen kann. Die Drosseln sind kleine Spulen von 2 cm Durchmesser und 3 cm Höhe, auf die 300 Windungen

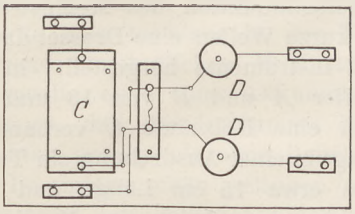


Fig. 3.

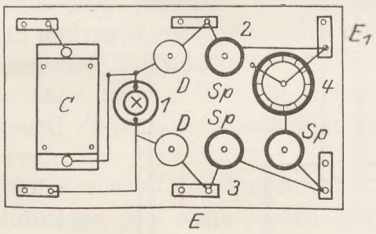


Fig. 4.

von umsponnenem Kupferdraht von 0,25 mm Stärke aufgewickelt sind. Der Kondensator gestattet dem hochfrequenten Wechselstrom den Eintritt in das Thermoelement; die Drosseln lassen zwar den Thermogleichstrom, aber nicht den Wechselstrom durchgehen. Als Gleichstromanzeiger kann man schon ein empfindliches Drehspulmilliamperemeter, aber noch besser ein Galvanoskop von Siemens & Halske, Nadir oder Ruhstrat (1 Teilstrich etwa 0,00001 Amp.) oder auch ein Spiegelgalvanometer mit kleinem Widerstand verwenden.

Ähnlich sieht die Bolometeranordnung (Fig. 4) aus. Der Hochfrequenzstrom wirkt wieder über einen Blockkondensator von 5000 cm Kapazität und zwar diesmal auf eine Taschenlampenbirne, deren Faden den veränderlichen Widerstand darstellt; D sind Drosseln wie bei der früheren Anordnung und Sp Spulen aus 0,15 mm starkem mit Seide umsponnenen Konstantandraht, sie bilden die Zweige 2—4 einer Wheatstoneschen Brücke; im letzten Zweig (4) ist außer der Spule noch ein kleiner regelbarer Widerstand (z. B. Heizwiderstand für Elektronenröhren) vorhanden, um das Gleichstrominstrument bequem auf Null bringen zu können. Bei E und E_1 wird ein Zink-Kohleelement angeschaltet. Die Anordnung ist recht empfindlich, man erhält z. B. an einem Ruhstrat-Stromzeiger kräftige Ausschläge.

Handelt es sich nur um kleine Energien, wie z. B. in dem Falle, wo Kreis I mit Hilfe eines Summers aus einer 4 bis 6 Voltbatterie gespeist wird, so erhält man durch einen in den Nebenschluß zu einigen Windungen geschalteten Kristalldetektor gleichgerichtete Ströme, die sich mit einem empfindlichen Instrument nachweisen lassen. Zur bequemen Handhabung kann man sich aus einem Stück Hartgummi $2 \times 3 \times 5$ cm einen Stecker fertigen, der, mit Buchsen für Detektor und Telephon versehen, sich z. B. beim Wellenmesser in den mit der Bezeichnung Glühlampe versehenen Anschluß einsetzen läßt. Aber auch auf ein Brettchen können die Teile montiert und die nötigen Verbindungen mit Litzen und Bananensteckern leicht hergestellt werden.

Endlich kann man auch einen besonderen (aperiodischen) Kreis III aufbauen, der außer einer Aufnahmespule und einem Detektor noch einen Blockkondensator enthält.

Dieser Prüfkreis wird, in die Nähe von Kreis *II* gebracht, induktiv beeinflußt, er ist zum Nachweis von Schwingungen sehr geeignet. Man erhält ihn als „Tonprüfer" oder „aperiodischen Kreis" bei allen großen Firmen für Radiotechnik, kann ihn aber auch leicht ähnlich wie den größeren Kreis Fig. 2 aus einer Holzspule (11 cm Durchmesser; 50 bis 80 Windungen lackierten Kupferdraht, 0,7 mm stark), einem Blockkondensator von 2000 cm und den nötigen Buchsen herstellen. Als Anzeigegerät wird hierbei in dem Falle, wo *I* nicht ungedämpfte Wellen gibt, sondern Schwingungsgruppen, an Stelle des Galvanometers ein gutes Telephon verwendet, in welchem die Gruppenfrequenz hörbar wird. Ersetzt man schließlich den einfachen Detektor durch eine Elektronenröhre, so ist man auf dem Wege zu den Empfangsapparaten, die ja schließlich auch Anzeigegeräte darstellen.

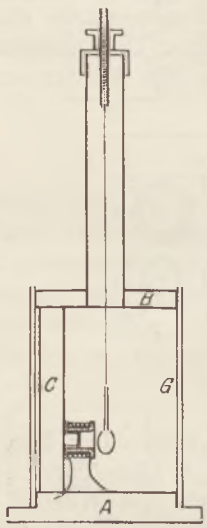


Fig. 5.

Fig. 6.

Einige recht interessante Hochfrequenzgalvanometer lassen sich nach dem dynamometrischen Prinzip herstellen. Für hochfrequenten Wechselstrom dürfen die Spulen nur wenige Windungen haben, weil die zusätzliche Selbstinduktion des Meßinstrumentes störend wirken könnte und für kurze Wellen eine Drossel darstellen würde. Verfasser hat sich 3 Instrumente hergestellt, indem er jedesmal 2 Holzteller *A* und *B* von 13 und 10 cm Durchmesser durch eine Holzsäule *C* verband. Der obere Holzteller trägt in einer Ausdrehung ein Turbonit- oder Glasrohr von etwa 15 cm Länge und 2,5 cm Durchmesser, welches oben durch eine Messingkappe abgeschlossen ist. Durch eine Bohrung dieses Messingkopfes ragt in das Innere der Röhre eine Stellschraube, an welcher der drehbare Teil des Meßwerks befestigt ist. Durch einen offenen Glaszylinder *G* von 10 cm lichter Weite läßt sich der Raum zwischen *A* und *B* gegen Luftströmungen abschützen. Die Instrumente lassen sich zur bequemen Einstellung auf einen Holzuntersatz setzen, der mit Fußschrauben versehen ist.

Beim ersten Apparat hängt an einem Lamettafaden eine kleine Drehspule mit 6 Windungen von 12 mm Durchmesser aus Hochfrequenzlitze; sie ist auch durch Lametta (in verschiedenen Stärken zu beziehen von Max Kohl, Chemnitz) ohne große Hemmung ihrer Bewegungen mit der Feldspule verbunden. Diese besteht aus 8 Windungen von 1,2 mm starkem, mit Baumwolle umsponnenem Kupferdraht von 22 mm Durchmesser; sie wird gehalten von 2 Klemmschrauben, welche in einem Querbrettchen an der Säule *C* sitzen. Die Spule ist in der Mitte ein wenig auseinander gezogen, um für die Zuführungen zur Drehspule Spielraum zu gewinnen. Das Instrumentchen gibt bei 0,1 Amp. einen deutlichen Ausschlag.

Im zweiten Falle ist auf einen Holzdorn der Säule ein Spulenkörper aufgesteckt, welcher 8 Windungen Hochfrequenzlitze von 25 mm Durchmesser trägt. Vor der Spule hängt an einem Kokonfaden ein Scheibchen aus Schablonenkupfer (Fig. 5). Es wird zunächst mit Hilfe der Stellschraube in die Richtung unter 45^0 zur Spulenachse gebracht. Der Hochfrequenzstrom eines K-Fuk (kleiner Funkapparat) ergibt kräftige Ausschläge.

Zur Herstellung des letzten Instrumentes (Kurzschlußring-Dynamometer nach Mandelstam und Papalexi) sind 2 Stücke Vierkant-Turbonitrohr von 3 cm Länge und $2{,}3 \times 1{,}3$ cm bzw. $2{,}8 \times 1{,}8$ cm Seitenlänge auf einer Fläche mit einer Bohrung von 6 mm Durchmesser versehen worden. Dann wurde das kleinere Stück mit 6 Windungen Litzendraht bewickelt, so daß je 3 Windungen zu beiden Seiten der Bohrung lagen. Nun ließ sich dieser Teil in das weitere Rohr gut passend einschachteln, und es wurde jetzt auch der äußere Teil bewickelt, aber so, daß die Windungen über die offenen Flächen der Schachteln gingen. Man erhält 2×6 Windungen, die zueinander

gekreuzt sind. Der Spulenträger wird an einen Messingwinkel geschraubt und dann an dem Träger C befestigt. In dem Raum zwischen den Windungen hängt an einem Kokonfaden ein Kurzschlußring nach Fig. 6, der aus Aluminiumblech von 0,2 mm Stärke geschnitten wurde. Die Instrumente lassen sich leicht für Spiegelablesung einrichten.

Ein einfacher Versuch zur Vorführung der Eigenschaften einer Selenzelle.

Von Dr. **H. Kröncke** in Berlin.

Das Selen hat zwar die Erwartungen, die man nach der Entdeckung seiner Lichtempfindlichkeit daran knüpfte, nicht ganz erfüllt, und es ist bisher nicht zu einer ausgedehnten Verwendung der Selenzelle in der Praxis gekommen. Trotzdem ist aber die physikalische Erscheinung der Abhängigkeit des elektrischen Widerstandes des Selens von der Stärke der Belichtung nach wie vor außerordentlich interessant. In vielen Anstalten finden sich kleinere oder größere Selenzellen in der Sammlung vor, die man meistens in der Weise vorführt, daß man die Selenzelle mit einem genügend empfindlichen Meßinstrument, etwa einem Milliamperemeter, und einer Stromquelle, etwa einer Akkumulatorenbatterie von 4 oder 6 Volt, in Reihe schaltet und zeigt, daß das Instrument bei Belichtung der Zelle einen bedeutend größeren Ausschlag anzeigt als ohne Belichtung.

Besonders schön gelingen allerdings solche Versuche in der Regel nicht, da häufig trotz beträchtlicher Unterschiede in der Energie des auffallenden Lichtes nur geringe Änderungen im Ausschlag des Meßinstruments zu beobachten sind. Noch gefährlicher für den Unterricht sind die Blinkanordnungen mit Relais und Lampe, die man hier und da trifft, und die in der Regel nur mit ziemlicher Mühe in Betrieb gesetzt werden können, so daß sie für den Unterricht an einer stark besetzten Anstalt recht wenig geeignet sind.

Das im folgenden beschriebenene einfache Verfahren zur Vorführung der Lichtempfindlichkeit der Selenzelle, das der Firma Clausen & v. Bronk durch das D.R.P. 318746 für die praktische Ausnutzung geschützt ist, erfordert dagegen nur sehr geringe Hilfsmittel und gelingt mit völliger Sicherheit, wenn man über eine einigermaßen brauchbare Selenzelle verfügt. Dabei ist die Wirkung auch auf große Entfernung in der Klasse sehr gut zu erkennen.

Man schaltet zu diesem Zweck eine Selenzelle von möglichst hohem Widerstand mit einer gewöhnlichen Neon-Glimmlampe in Reihe und legt beide unmittelbar an 220 Volt Gleich- oder Wechselstrom. Der Widerstand der Selenzelle soll im unbelichteten Zustand so hoch sein, daß nur ein sehr geringer Strom durch die Glimmlampe geht, so daß sie nur schwach leuchtet. Läßt man dann jedoch Licht auf die Selenzelle fallen, so wird ihr Widerstand soweit erniedrigt, daß die Glimmlampe bedeutend heller aufleuchtet. Mit einer guten Selenzelle kann man so das Aufflammen eines Streichholzes noch in 1 m Entfernung deutlich nachweisen, wenn man das Zimmer verdunkelt hat.

Es ist auch möglich, die Selenzelle der Glimmlampe parallel zu schalten. Auch dann macht sich eine Änderung im Widerstand der Selenzelle durch Aufleuchten oder Erlöschen der Glimmlampe bemerkbar. Die Schaltung der Selenzelle mit der Glimmlampe in Reihe dürfte jedoch im allgemeinen vorzuziehen sein, da dann die Selenzelle weniger hoch belastet wird, was im Interesse ihrer Lebensdauer sehr zu empfehlen ist. Im allgemeinen wird zwar angegeben, daß eine Selenzelle nicht höher als mit 50 Volt belastet werden dürfe. Da jedoch die Glimmlampe als Vorschalt-Widerstand vor der Selenzelle liegt, ist auch bei unmittelbarem Anschluß an die volle Netzspannung kein Schaden zu befürchten.

Man könnte auf den Gedanken kommen, dieses Verfahren dahin auszubauen, daß man die Neonlampe in bekannter Weise mittels eines Kondensators und eines

hohen Widerstandes zur Erzeugung hörbarer Schwingungen verwendet und als Widerstand die Selenzelle benutzt. Eine Änderung des Widerstandes infolge einer Änderung der Belichtung würde dann die Tonhöhe des Schwingungserzeugers ändern. Dies Verfahren ist in der Tat möglich, jedoch muß man dazu eine Glimmlampe benutzen, aus der man zunächst den Widerstand im Sockel entfernt hat. Als Kondensator genügt ein kleiner Blockkondensator von 2000 cm Kapazität, wie er für Radiozwecke verwendet wird. Die Anordnung ist ziemlich empfindlich, sie zeigt aber deutlich die Trägheit des Selens: die Tonhöhe ändert sich immer nur allmählich, nicht etwa sprungweise. Der Versuch hat Interesse wegen seiner Ähnlichkeit mit den modernen Vorrichtungen, um über dem Umweg der elektrischen Schwingungen auf akustischem Wege und nötigenfalls nach Gleichrichtung mit Hilfe von Meßinstrumenten kleine Längenänderungen zu messen, wie es in dem sog. Radio-Mikrometer geschieht.

Das der Firma Clausen & v. Bronk patentierte Verfahren bezweckt z. B. die Überwachung von Beleuchtungsanlagen. Man kann nämlich die Selenzelle und die Glimmlampe räumlich weit voneinander trennen, denn es ist keineswegs erforderlich, daß diese beiden Teile dicht nebeneinander aufgebaut werden. So kann man eine Selenzelle beispielsweise an irgendeiner Stelle eines Zimmers anbringen, dessen Lichtverbrauch beobachtet werden soll, während eine Glimmlampe in einer Kontrolleinrichtung durch ihr Aufleuchten sofort anzeigt, ob in dem betreffenden Zimmer Licht brennt oder nicht. Da die Selenzellen nicht nur gegen Lichtstrahlen, sondern auch gegen Wärmestrahlen empfindlich sind, kann man die gleiche Einrichtung auch als eine automatische Feuermeldeeinrichtung benutzen. Praktische Anwendung scheint allerdings diese einfache Benutzung der Selenzelle, die sich obendrein durch sehr geringen Stromverbrauch auszeichnet, bisher nicht gefunden zu haben. Für den Unterricht ist dagegen der Versuch sehr lehrreich. Irgendwelche Schwierigkeiten infolge des bestehenden Patentes sind selbstverständlich nicht zu erwarten, da das Patent nur die gewerbliche Ausnutzung des Erfindungsgedankens schützt.

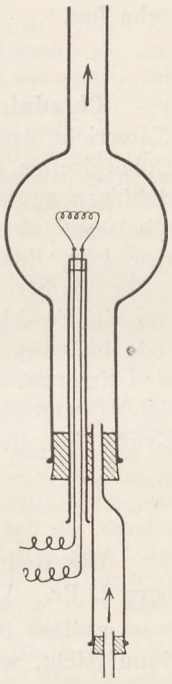
Ammoniaksynthese.

Von Dr. **W. Flörke** in Gießen.

Die Bildung des Ammoniaks aus seinen Grundstoffen läßt sich mit einfacher Versuchsanordnung, wie folgt, demonstrieren.

Als Katalysator dient der Glühdraht eines kleinen elektrischen Glühlämpchens. Das von mir benutzte Lämpchen war ein 12 Volt-Osramlämpchen, wie es für Autoscheinwerfer gebraucht wird. Die Glashülle der Lampe wird entfernt, wobei man folgendermaßen verfährt: Auf der Glasbirne wird mit Feile oder Glasmesser ein Ritz erzeugt und auf diesen Ritz das hellglühende Ende eines Glasstäbchens gehalten. Es entsteht ein Sprung, der es gestattet, ein Stück der Glasbirne abzuheben, worauf man den Rest mit einer kleinen Flachzange entfernen kann. Als Reaktionsraum dient eine 2,5 cm weite Glasröhre, die zu einer Kugel von 5 cm Durchmesser aufgeblasen ist. Die Glasröhre wird mit einem Stopfen verschlossen, der 2 Durchbohrungen besitzt. Durch die eine Bohrung geht ein Stück Glasrohr, in dem die Stromzuleitungen liegen, und an das am vorderen Ende die Fassung der Glühlampe mit Siegellack angekittet ist. An der Eintrittsstelle sind die Drähte ebenfalls mit Siegellack luftdicht eingekittet. Die andere Bohrung nimmt das Gaszuleitungsrohr auf, das oberhalb des Stopfens erweitert ist, um ein Stück Lackmuspapier aufzunehmen. Der Glühdraht der Lämpchen kommt in die Mitte der Glaskugel. An der gegenüberliegenden Seite ist an die Glaskugel ein etwa 15 mm weites Glasrohr angesetzt, durch das die Gase entweichen. In dieses Ansatzrohr kommt ebenfalls ein Stück Lackmuspapier. Das Reaktionsgemisch wird fertig einem kleinen Gasometer (3 l Inhalt genügen bei weitem), den man sich leicht aus 2 Flaschen mit Bodentubus

und einem Glashahn bauen kann, entnommen. Den Stickstoff erzeugt man durch Eintropfenlassen von konz. Natriumnitritlösung in heiße konz. Salmiaklösung. Er wird ohne weitere Reinigung im Gasometer aufgefangen. Nun werden etwa 3 Volumina Wasserstoff, der der Bombe oder dem Kipp entnommen wird, beigemengt. Das Mengenverhältnis braucht nur ganz roh zu stimmen. Spuren von Luft stören nicht. Zum Versuch setzt man den Gasstrom in Gang, prüft auf Knallgas und bringt den Glühdraht zum schwachen Glühen. Nach wenigen Minuten schon fängt das im abströmenden Gas liegende Lackmuspapier an sich zu bläuen, während das Papier im zuströmenden Gasgemisch keinerlei Veränderung zeigt. Der ganze Versuch läßt sich, wenn alles vorbereitet ist, einschließlich der Stickstoffdarstellung und Gemischbereitung in 15 Minuten ausführen. Benutzt man fertiges Gemisch, so braucht man noch keine 5 Minuten. Eine Ermüdung des oft benutzten Katalysators wurde nicht beobachtet. Zum Beheizen wurde Lichtstrom von 220 Volt Betriebsspannung benutzt unter Verwendung eines Glühlampenwiderstandes mit 3 Kohlefadenlampen (50 HK, 32 HK, 16 HK). Der Gasstrom braucht nur ganz schwach zu sein, 1 l Gasgemisch reicht dann für einen Versuch völlig aus.



Statt des Glühdrahts eines elektrischen Glühlämpchens läßt sich auch ein elektrisch beheizter dünner Eisendraht verwenden (Blumendraht!). Auch damit erhält man eine sehr deutliche Reaktion. Allerdings muß man den Versuch dann etwa die doppelte bis dreifache Zeit gehen lassen. Platin zeigte keine Wirkung.

Die Ammoniakmengen, die bei dieser Versuchsanordnung entstehen, sind mit dem Geruchsinn nicht nachzuweisen. Die Vorzüge der Versuchsanordnung bestehen in der Einfachheit der Handhabung, in der Kürze der Versuchsdauer und darin, daß der Katalysator beliebig oft verwertbar ist.

Für die Praxis.

Freihandversuche zum Magnuseffekt. Von Dr. **M. Niemöller** in Perleberg.

1. Ein Papierzylinder wird mit einem breiten Streifen aus Zeitungspapier umwickelt. Hält man das eine Ende des Streifens fest, so daß der Zylinder fällt, während er gleichzeitig in Drehung versetzt wird, so weicht er während des Fallens aus der Lotrichtung ab.

Beispiel: Zylinder aus Schreibpapier von 22 cm Länge, 4 cm Durchmesser. Papierstreifen von 60 cm Länge, 7 cm Breite. Bei einer Fallhöhe von 2,50 m erreicht der Zylinder 1,10 m vom Fußpunkt des von der Hand zur Erde gefällten Lotes den Boden. Läßt man ihn aus der hoch erhobenen Hand, also aus etwa 2 m Höhe fallen, so beträgt die Abweichung von der Lotrichtung bis zu 80 cm.

2. In eine etwa 1 m lange, an einem Ende geschlossene Röhre von 1 cm Durchmesser (Torricellische Röhre) wird eine Glaskugel gelegt. Läßt man die Kugel aus der schräg gehaltenen Röhre ins Wasser rollen, so erreicht sie unter der Röhre den Boden des Gefäßes, anstatt wie bei demselben Versuch in Luft, in Richtung der Verlängerung der Röhre.

3. Ein schmaler Zylinder aus dünnem Papier (Zeitungspapier) von etwa 10 cm Länge und $1^1/_2$ cm Durchmesser wird oben durch einen Kork verschlossen und an einem daran befestigten Faden von $^3/_4$ m Länge aufgehängt. Drillt man den Faden und hebt den Zylinder, ehe man ihn losläßt, so daß der herunterfallende sich drehende

Zylinder Pendelschwingungen ausführt, so zeigt sich eine Abweichung von der gewöhnlichen Bahn. Das untere Ende des Zylinders beschreibt während der drei ersten Halbschwingungen einen Linienzug, der angenähert die Form eines Dreiecks hat.

Chladnische Klangfiguren. Von Prof. Dr. **L. Fomm** in München. Es wird im Unterricht lästig empfunden, daß man die mit Hilfe von Streusand auf Platten erzeugten Chladnischen Klangfiguren nicht in vertikale Stellung bringen kann, um sie allen Schülern zugleich zeigen zu können, da der Sand abfällt. Ein einfaches Mittel, diesem Übelstand abzuhelfen, ist folgendes: Man streut auf eine Glasplatte fein gepulvertes Kochsalz, das durch Erwärmen möglichst trocken gemacht wurde. Hat man mit Hilfe des Streichbogens die Figur erzeugt, so genügt es die Glasplatte anzuhauchen, um ein Festkleben des Salzes an der Platte zu erreichen. Die Platte kann dann in jede beliebige Stellung gebracht und auch projiziert werden. Auch Streusand läßt sich fixieren, wenn man die Platte vorher mit einer dünnen Schicht Gelatine überzieht. Solche gelatinierte Platten lassen sich auch verwenden zur Fixierung von magnetischen Kraftlinien, die mit feinem Eisenpulver hergestellt sind.

Die Bedeutung der Kathode beim Lichtbogen. Von **M. Dehnen** in Königsberg i. Pr. Vgl. diese Zeitschr. 37; S. 49, 1924.

a) Das Durchschneiden von Blech mit Hilfe des Lichtbogens gelingt nur dann leicht, wenn das Blech zur Anode gemacht wird.

b) Lichtbogen zwischen Zinksulfatlösung und Kohle. Macht es Schwierigkeiten, zwischen der Lösung und der reinen Kohle den Lichtbogen zu erzeugen, so versehe man zunächst die Kohle mit einem Zinküberzug, indem man sie an das Zinkblech, das man zweckmäßig als Stromzuführung zur Lösung benutzt, hält und hier den Lichtbogen bildet. Nach kurzer Zeit läßt sich dieser auf die Flüssigkeit hinüberführen, oder man versucht jetzt erneut, einen Lichtbogen an der Flüssigkeit selbst herzustellen.

Metaldehyd. Von Prof. Dr. **L. Fomm** in München. — Im Handel (Sportgeschäften) erhält man einen festen Heizstoff unter dem Namen Meta. Er dient als Ersatz für Hartspiritus, besteht aus Metaldehyd und wird in Stäbchenform oder quadratischen Stücken geliefert. Gegenüber dem Hartspiritus besitzt Meta den Vorzug, sich an freier Luft nicht zu verändern und beim Brennen nicht flüssig zu werden; auch ist dieser Heizstoff explosionssicher. Bringt man ein solches Stäbchen in eine Metallhülse als sog. Metakerze, so kann es in einfacher Weise zu Lötzwecken oder zum Siegeln benutzt werden. Berührt man ein Stückchen Meta mit einem rotglühenden Eisenstäbchen, so verflüchtigt sich der Metaldehyd bei gewöhnlichem Luftdruck, um sogleich wieder zu sublimieren. Es bildet sich in der Luft eine große weiße Wolke aus feinsten Kristallnadeln, die einen reizenden Anblick gewährt. Auch in elektrischer Beziehung zeigt der Metaldehyd ein wertvolles Verhalten. Er wird durch einfaches Streichen zwischen den trockenen Fingern elektropositiv und behält diese Ladung tagelang bei. Auch ist der Metaldehyd ein ausgezeichneter Isolator für Elektrizität und kann an Stelle von Bernstein zu Isolierungszwecken bei Elektroskopen gute Dienste leisten. Metaldehyd wird aus Acetaldehyd durch Einwirkung von Säuren oder Haloidsalzen erhalten $(C_2H_4O)_6$. Durch Zusatz geringer Mengen von Ammoniumkarbonat wird der Metaldehyd haltbar gemacht.

Berichte.

1. Apparate und Versuche.

Das Digestorium des Oberlyzeums (Hansaschule am Sunde) in Stralsund. Von HUGO REISSE in Stralsund.

Bei der Einrichtung der Räume für den physikalischen und chemischen Unterricht im Neubau des Stralsunder Oberlyzeums war die Anlage des Digestoriums in der am häufigsten üblichen Weise (hinter der Wandtafel, zwischen Unterrichts- und Vorbereitungsraum) nicht möglich, weil die Tafelwand das Gebäude nach der Straße zu abschließt. Durch einen aus-

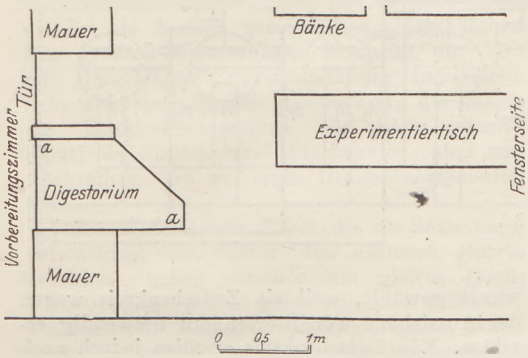


Fig. 1.

hängenden Glaskasten hinter der Tafel wäre die Straßenfront des schmucken Gebäudes verunziert worden, auch hätten die Kälte im Winter und sommerliche Sonnenglut recht störend sich bemerkbar machen können. Da nun die Digestorien hinter der Wandtafel ohnehin mancherlei Nachteile haben (Verdeckung eines Teils der Apparate beim Experimentieren durch den Lehrer, Rückenstellung des Lehrers, häufig Fehlen des Oberlichts, größere Entfernung der Apparate von den Schülern), wurde gern von der Einrichtung eines solchen Digestoriums Abstand genommen. Es wurde der Plan erwogen, einen quaderförmigen Glaskasten in die Ecke zu bauen und ihn nach dem Vorbereitungszimmer durchzuführen. Infolge der seitlichen Lage dieses Digestoriums hätten viele Schüler das Digestorium über Eck gesehen, so daß das Gesamtbild durch die Holzkante in zwei Teile geschnitten worden wäre. Deswegen wurde die störende Ecke des Glaskastens einfach weggeschnitten. Durch Benutzung der Diagonalfläche wurde zugleich die Schaufläche vergrößert bzw. die Verkürzung der Langseite und Vergrößerung der Querseite ermöglicht. Es blieb nun noch der Übelstand der Rückenstellung des Lehrers beim Experimentieren oder bei Vermeidung derselben, des Hantierens mit der linken Hand. Deswegen wurde das Digestorium um ein Meter aus der Ecke vorgeschoben und der Standort des Experimentierenden auf die Rückseite des Digestoriums verlegt; zugleich wurde die vorstehende spitze Ecke, die weder außen noch innen praktisch und schön sein konnte, weggeschnitten. Dieser Gedankengang führt mich zur Konstruktion eines Digestoriums, wie ich es ähnlich anderwärts nicht gesehen habe. Der beigefügte Grundriß zeigt die Form des Digestoriums und seine Lage im Unterrichtsraum. Die weiteren Zeichnungen geben ein Bild der Rückseite, der schmalen Seite und der Schauseite des Digestoriums. Bei nur 70 cm Vorsprung aus der Wand bietet das Digestorium eine Schaufläche in einer Breite von einem Meter, und die Lage der Schaufläche ist die günstigste für das seitliche Sehen der Schüler. Die vielen Glasflächen, auch die Deckfläche ist aus Glas, geben dem Innenraum eine Helligkeit, die den Lichtverhältnissen in den übrigen Teilen des Lehrsaales, insbesondere des Experimentiertisches, kaum nachsteht. Die Entfernung der Apparate von den Zuschauern ist auch fast dieselbe wie der auf dem Experimentiertisch stehenden Gegenstände. Das Licht fällt in der Blickrichtung der Schüler auf die Apparate, so daß die Schatten nach der den Schülern abgewandten Seite fallen. Auf der Rückseite befindet sich ein 1 m hohes Schiebefenster, in dem wiederum zwei kleine Türchen angebracht sind. Der Gashahn ist an der Außenseite angebracht. Die beiden Anschlußstellen im Inneren sind in dem Grundriß mit *a* bezeichnet. Der in die Mauer eingebaute Teil ist mit weißen Kacheln ausgelegt, und die Holzteile sind im Inneren, wie allgemein

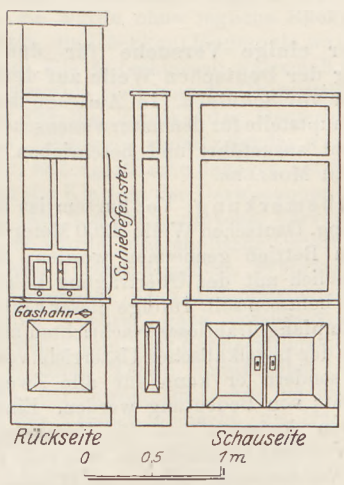


Fig. 2.

üblich, mit säurefestem, weißem Anstrich versehen. Nach dem Vorbereitungszimmer zu ist ein Schiebefenster, über das eine Wandtafel gezogen werden kann, da der Vorbereitungsraum auch Übungszwecken dient. Der Unterbau ist ebenfalls durch die Wand hindurchgeführt und bietet in zwei Abteilungen, vom Lehrsaal und vom Vorbereitungszimmer aus, Raum zur Unterbringung von Gegenständen.

Das Digestorium ist bereits über ein Jahrzehnt im Gebrauch und hat sich bestens bewährt. Der Lehrer kann beim Experimentieren fragen und antworten, ohne die Schülerinnen aus dem Auge zu verlieren und ohne auch nur im geringsten durch seinen Körper die Aussicht auf die Apparate zu beschränken, d. h. unter gleich günstigen Bedingungen arbeiten wie am Experimentiertisch. Damit ist die höchste Forderung, die man an ein Digestorium stellen kann, erfüllt.

Leider wollte der Baumeister seinerzeit den Abzugkanal nicht durch die ganze Turmwand hochführen (das Vorbereitungszimmer liegt im 1. Stock des massigen Turms, der das Gebäude ziert; daher auch die ungewöhnlich dicke Mauer und die große Geräumigkeit des Digestoriums). Man ließ deshalb den Kanal in größerer Höhe seitlich abbiegend ins Freie münden. Ist der Wind so gerichtet, daß er gerade in diese seitliche Öffnung hineinbläst, dann vermag auch nicht die vorhandene Lockflamme den Gasen guten Abzug zu verschaffen. (Ich habe sogar erlebt, daß die Lockflamme vom Wind ausgeblasen worden ist.) Ein Windschutz aus Blech vor der Öffnung könnte dem Übel abhelfen. Wegen der durch die schwere Zugänglichkeit entstehenden größeren Kosten ist die Anbringung bisher unterblieben.

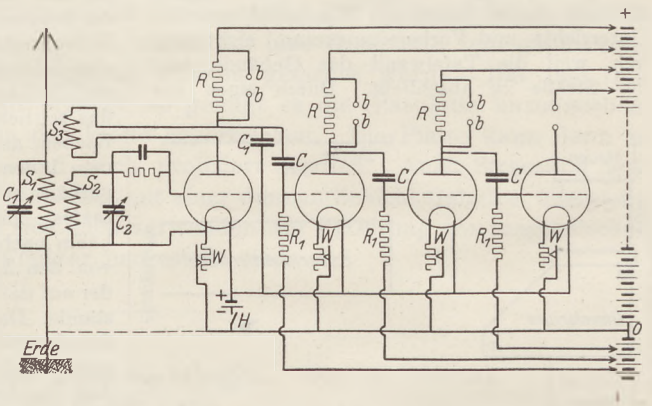
Das Digestorium wurde ausgeführt von der Firma Leppin & Masche, Berlin, Engelufer 27.

Über einige Versuche für den Fernempfang der Deutschen Welle auf dem Lautsprecher vor Schülern. Im Auftrage der Staatlichen Hauptstelle für den naturwissenschaftlichen Unterricht ausgeführt und beschrieben von Dr. FRIEDRICH MOELLER.

Vorbemerkung: Vor kurzem ist der Sender der sog. Deutschen Welle (1300 Meter Wellenlänge) in Betrieb genommen worden, der sich ausschließlich mit der Übertragung belehrender Vorträge befassen soll. Infolge dieser Einrichtung ist der Empfang drahtloser Nachrichten nicht nur mehr für den physikalischen Unterricht von Wichtigkeit, sondern er kann für alle Zweige des Unterrichts von Bedeutung werden. Eine große Reihe von Anfragen hat die Hauptstelle veranlaßt, Versuche aufzunehmen, wie weit mit den zur Zeit vorhandenen technischen Mitteln die Benutzung dieser Einrichtung heute mit Erfolg geschehen kann. Mit einem von der Hauptstelle gebauten Apparat wurde ein Anfang mit diesen Versuchen gemacht, worüber hier berichtet werden soll. Über die Fortsetzung der Arbeiten wird weitere Nachricht gegeben werden.

a) Der Empfangsapparat.

Für den Bau des Empfängers wurden folgende Bedingungen aufgestellt als notwendig zu erfüllen: 1. Sauberste Wiedergabe der Darbietungen, 2. größte Betriebssicherheit, 3. möglichste Einfachheit der Bedienung, so daß auch ein Laie die Einschaltung des Apparates vornehmen kann. Experimentiermöglichkeiten wurden wegen der Bedingung 3 nur sehr wenig berücksichtigt. Die Schaltungsweise des Apparates ist in untenstehender Figur skizziert und besteht nach der gewohnten Ausdrucksweise aus einem Sekundär-Audion-Kreis mit nachfolgender dreifacher Niederfrequenzverstärkung. Der Sekundärempfang



wurde gewählt, weil ein Zwischenkreis wegen der Aussiebung von Störsendern notwendig erschien. Ein Zwischenkreis erschien jedoch auch ausreichend, weil auf der langen Welle 1300 Meter die Störungsmöglichkeit schon sehr viel geringer ist als auf den kleineren Rundfunkwellen. Zum Zwecke der Niederfrequenzverstärkung wurden keine Transformatoren, sondern die sog. kapazitive Widerstandskopplung[1])

[1]) Bei der Besprechung der Schaltung, die an anderer Stelle vielleicht einmal gründlicher erfolgen soll, erscheint mir folgende Feststellung wichtig: die sog. Widerstandsverstärkung, die man neuerdings viel erörtert, wird oft für eine Erfindung des bekannten Amateurs M. von ARDENNE gehalten. Es ist dies jedoch keineswegs der Fall. Meines Erachtens hat sie in Deutschland zuerst LEITHÄUSER veröffentlicht, als dessen Assistent ich sie schon im Telegraphenversuchsamt im Jahre 1919 verwendete. Allerdings wurde dieser Schaltung damals noch keine große Bedeutung beigemessen, denn der Rundfunk war noch nicht erfunden. Als die Telephoniebesprechung der Sender aufkam, wurde jedoch dieser Schaltung von vornherein große Wichtigkeit zugesprochen, und sie wurde z. B. bei der Firma Dr. E. F. Huth im Laboratorium von KÜHN und seinen Mitarbeitern allgemein verwendet (1920). Übrigens halte ich die ARDENNEsche Wahl der Widerstände von mehr als einer Million Ohm für nicht sehr glücklich, desgleichen auch nicht die Verwendung der Röhren mit einem Durchgriff von 3%, da hierdurch eine starke Unstabilität der Anordnung hervorgerufen wird. Am besten sind Röhren mit etwa 7 bis 8% Durchgriff, jedoch leisten auch die normalen Röhren mit 11 bis 14% Durchgriff sehr gute Dienste.

genommen, deren Vorteil erstens eine weit bessere Abbildung und zweitens eine weit größere Störungsfreiheit von örtlichen Einflüssen (Motore usw.) ist. Die Wicklungen der Transformatoren werden durch Felder elektrischer Motoren, Starkstromtransformatoren usw. oft stark induziert. Die Schaltung ist im einzelnen wie folgt ausgeführt: Der Antennenkreis (Primärkreis) ist auf „lang" geschaltet, da eine Verkürzung der Antenne wegen der längeren Welle nicht mehr in Frage kommt. Außer der Antenne und der „Erde" besteht also der Empfangskreis aus der Spule S_1 und dem Drehkondensator (Abstimmkondensator) C_1 (500 cm), der parallel zur Spule und demnach auch zur Antenne liegt. Der Sekundärkreis (Zwischenkreis) besteht aus der Spule S_2 und dem Drehkondensator C_2 (500 cm), er liegt direkt an der als Audion geschalteten ersten Röhre. Für größere Entfernungen erscheint der Vorteil der Dämpfungsverminderung unvermeidlich, weswegen in den Anodenkreis der Röhre die Rückkopplungsspule S_3 gelegt wurde. Sämtliche Spulen sind Steckspulen, also auswechselbar, und auf einen Dreifachspulenhalter gesetzt.

Die Widerstände *RRR*, die die Spannungsverstärkung am Gitter des nächsten Rohres bewirken, haben sämtlich die gleiche Größe 300000 Ohm, es sind keine normalen Silitstäbe, die sich vielfach als unzuverlässig erwiesen haben, sondern es wurden sog. Dralowidstäbe verwendet. Die Spannungsübertragung geschieht durch die Kondensatoren *ccc*, mit der Abmessung 5000 cm. Der Blockkondensator c_1, der zum Kurzschluß der Hochfrequenz am Audion dient, hat 1000 cm Kapazität. Parallel zu den Widerständen *RRR* liegen die Buchsen *bb*, die ein Abhören in jedem Röhrenkreis ermöglichen. Abgesehen von der leichteren Auffindungsmöglichkeit eines etwaigen Fehlers dient diese Anordnung auch sehr zu einer bequemen Wahl der gewünschten Lautstärke. Die nicht in Betrieb befindlichen Röhren werden sehr einfach durch Ausschalten des Heizstromes an den Heizwiderständen *W* außer Betrieb gesetzt. Die Anodenspannungen können liegen bleiben, da eine Röhre in kaltem Zustande keinen Strom verbraucht. Die Widerstände $R_1 R_1 R_1$ sind die sog. Ableitungswiderstände, deren Abmessung 1000000 Ohm beträgt. Die Ableitung ist nicht an Null, sondern an eine Spannung unter Null (negative Vorspannung) gelegt, um bei größeren Amplituden keinen Gitterstrom hervorzurufen, wodurch Verzerrung eintreten würde. Die Zuführung der Anodenspannung erfolgt zu jeder Röhre gesondert, eine Maßnahme, die nötig wird, weil jede Röhre Endröhre werden kann. Im allgemeinen muß dann die Spannung etwas erniedrigt werden. Für die Röhren mit Widerstand ist eine Anodenspannung von 150 bis 200 Volt nötig, weil durch den hohen Widerstand 300000 Ohm der Röhre Spannung weggenommen wird, die ersetzt werden muß. Der Hauptschalter *H* schaltet sämtliche Heizungen ab, so daß der Empfänger tot wird. Nach Aufstellung des Empfängers und Einstellung der Welle besteht der einzig notwendige Handgriff darin, den Schalter einzulegen.

Als Röhren wurden verwendet Telefunken RE 79 und (als Endröhre) RE 154[1]). Sämtliche Teile sind in einen Kasten eingebaut, der verschließbar sein kann.

b) Die Versuche.

Nach den Vorversuchen in Berlin, die ein gutes Resultat ergaben, aber selbstverständlich wegen der geringen Entfernung vom Sender durchaus unzulänglich waren, ergab sich die Notwendigkeit, den Apparat auf größere Entfernungen zu prüfen. Eine mittlere Entfernung von 200 km erschien hierzu zunächst am geeignetsten. Studiendirektor RIEKERT an der städtischen Handels- und Gewerbeschule in Dippoldiswalde (Erzgebirge) erbot sich in freundlicher Weise, seine Räume für diesen Zweck zur Verfügung zu stellen. Die Entfernung Dippoldiswalde—Königswusterhausen beträgt allerding nur etwa 165 km, aber nichtsdestoweniger mußte der Versuch schon einen ziemlich guten Einblick gewinnen lassen. Die Versuche wurden ausgeführt am 8. und 9. Februar 1926. Eine Antenne war bereits vorhanden, ihre Höhe über der Erde (um einige ungefähre Maße anzugeben) war etwa 20 Meter, die Antennenlänge etwa 60 Meter; allerdings führte die Antenne schräg abwärts zu einem niedrigeren Gebäude, da das Schulgebäude auf einer Anhöhe liegt. Die „Erde" war die Blitzableiter-Erdungsplatte. Der Empfang wurde vorgenommen in einem Zimmer von rund 10 mal 7 Meter Fläche und etwa 4,5 Meter Höhe. Die Lautstärke war mit 4 Röhren gut und erfüllte den Raum. Es wurde ohne jegliche Rückkopplung gearbeitet, die Rückkopplungsspule war kurz geschlossen. Die Aufnahmezeit war von 3 bis 5 Uhr nachm. gewählt, weil dann die Übermittlungen des Senders für die Zwecke der Deutschen Welle erfolgen. Störungen anderer Sender wurden nicht bemerkt, Motorgeräusche dagegen häufiger, ohne indessen die Klarheit der Darbietungen zu unterbinden. Am 8. wurden zunächst Vorversuche gemacht, es wurde „der englische Unterricht" und ein anderer Vortrag abgehört. Während der englische Unterricht nach Übereinstimmung aller beteiligten Zuhörer ganz vorzüglich auf den Lautsprecher kam, war der nachfolgende Vortrag nicht in allen Teilen verständlich, oft sogar gänzlich verschwommen. Am nächsten Tage wurde der Versuch gemacht, die Darbietungen Schülern und Schülerinnen der Anstalt verständlich zu machen. Es handelte sich zunächst um einen Vortrag (über Berufsschulen). Direktor RIEKERT ließ den Zuhörern (es handelte sich um Schüler und Schülerinnen im Alter von 14 bis 16 Jahren) 2 Minuten Zeit und fragte dann, wer die Darbietung verstanden hätte. Es meldeten sich etwa 75%. Nach Verlauf von weiteren 5 Minuten wurde die gleiche Frage gestellt, worauf sich nur noch ein einziger meldete, der

[1]) Leider gibt es noch keine geeignete Endröhre für Widerstandsverstärkung.

noch nicht folgen konnte. Der anschließende „schwedische Unterricht" war teilweise auch verständlich, jedoch für Unterrichtszwecke deswegen unzureichend, weil die Lautbildung nicht gut zum Ausdruck kam. Die Güte dieses Unterrichts, der übrigens von einer Dame erteilt wurde, konnte sich an Klarheit der Wiedergabe mit dem englischen Unterricht des Vortages nicht messen.

Das Ergebnis dieser Versuche läßt sich in wenigen Worten kurz so zusammenfassen: Sender, Empfänger und Lautsprecher waren für die Übermittlung so brauchbar, daß eine Verwendung für Unterrichtszwecke durchaus möglich war. Der Sprecher am Mikrophon des Senders muß jedoch peinliche Aufmerksamkeit auf gute und klare Aussprache verwenden, auch vor allem nicht zu rasch sprechen. Mit dieser Bedingung steht und fällt bei den heutigen technischen Mitteln die Verwendung der Deutschen Welle für Unterrichtszwecke.

2. *Forschungen und Ergebnisse.*

Der Comptoneffekt. Originalbericht von Dr. A. WENZEL (Brandenburg a. H.)[1]).

Läßt man γ-Strahlen durch einen Körper fallen, so gehen von ihm Sekundärstrahlen aus, die um so weicher sind als die Primärstrahlen, je größer der Winkel zwischen beiden Strahlenrichtungen ist (1). Das gleiche stellten SADLER und MESHAM (2) für Röntgenstrahlen fest. Nach der Entdeckung der Röntgenstrahlenspektroskopie lag nun der Gedanke nahe, diese Erscheinung quantitativ spektroskopisch zu untersuchen. Dies hat A. H. COMPTON (3) als erster ausgeführt. Seine Messungen ergaben eine Wellenlängenvergrößerung der γ- und der Röntgenstrahlen nach

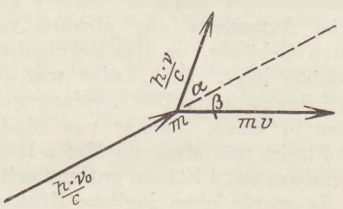


Fig. 1.

der Streuung, die bei einem Streuwinkel von ca. 90° für Strahlen von 0,7 bis 0,025 Å-E. Wellenlängen stets 0,03 Å-E. betrug.

Diese Erscheinung ist nun nach der alten klassischen elektrodynamischen Streuungstheorie nicht zu erklären, da hierin keine Möglichkeit einer Wellenlängenveränderung bei der einfachen Streuung vorhanden ist. Infolgedessen versuchte A. H. COMPTON (3) und unabhängig von ihm gleichzeitig mit demselben Ergebnis P. DEBYE (4) die extreme Quantentheorie hierzu heranzuziehen. Die Grundlage dieser extremen Quantentheorie ist die Vorstellung, daß ein freies Elektron von den einfallenden Lichtquanten Energie und Impulse aufnehmen kann wie von bewegten Korpuskeln. Trifft also ein Lichtquant mit der Energie $E = h \cdot \nu_0$ und dem Impuls $J = \frac{h\nu_0}{c} = \frac{h}{\lambda_0}$, worin h das PLANCKsche Wirkungsquantum ν_0 bzw. λ_0 die Scheidungszahl bzw. Wellenlänge des Primärstrahls und c die Lichtgeschwindigkeit ist, auf ein freies Elektron, so wird dies das Lichtquant aus seiner geradlinigen Bahn um den Winkel α ablenken und von ihm eine Geschwindigkeit erteilt erhalten, die mit zunehmendem α wächst. Dadurch verliert das Lichtquant an Impuls, also muß, da h eine Konstante ist, ν_0 kleiner bzw. λ_0 größer werden. Die Fig. 1 veranschaulicht die geometrischen Verhältnisse bei diesem Vorgang, wobei die Pfeile Größe und Richtung der Impulse angeben. Das Elektron mit der Masse m muß infolge des Stoßes mit der Geschwindigkeit v in der Richtung β dahinfliegen. Hatte das einfallende Lichtquant den Impuls $J_0 = \frac{h\nu_0}{c}$, so muß das sekundäre den Impuls $J = \frac{h \cdot \nu}{c}$ haben, wobei $\nu_0 > \nu$. Nach dem Impulssatz ergibt sich:

$$\left.\begin{aligned} \frac{h\nu_0}{c} &= m \cdot v \cdot \cos\beta + \frac{h\nu \cdot \cos\alpha}{c} \\ \text{und} \qquad m v \sin\beta &= \frac{h\nu}{c}\sin\alpha, \end{aligned}\right\} \quad \ldots (1)$$

wobei α und β mit dem Primärimpuls in einer Ebene liegen. Anderseits ergibt der Energiesatz:

$$h \cdot \nu_0 = \frac{1}{2} m v^2 + h\nu \quad \ldots\ldots (2)$$

Nach dem allgemeinen Pythagoras ergibt sich aus der Fig. 1 eine Beziehung, die man auch aus Gleichung (1) durch Elimination von β erhalten kann:

$$\left(\frac{h\nu_0}{c}\right)^2 = \left(\frac{h\nu}{c}\right)^2 - 2\frac{h\nu_0}{c}\cdot\frac{h\nu}{c}\cos\alpha = m v^2. \quad (3)$$

Aus Gleichung (2) und (3) ergibt sich unter Verwendung der Vereinfachung $v^2 = \nu_0^2 = \nu \cdot \nu_0$:

$$\nu = \nu_0 - \frac{h\nu_0^2}{m \cdot c^2}(1 - \cos\alpha) \quad \ldots\ldots (4)$$

Da $\lambda = \frac{c}{\nu}$ und $\lambda_0 = \frac{c}{\nu_0}$ ist, erhält man hieraus für die Wellenlängendifferenz

$$\lambda - \lambda_0 = \frac{c}{\nu_0\nu}(\nu_0 - \nu) = \frac{h}{mc}(1 - \cos\alpha) = \frac{1}{2}\frac{h}{mc}\sin^2\frac{\alpha}{2}. \quad (5)$$

Setzt man hierin für h, m und c die Zahlenwerte ein, so erhält man nach dieser COMPTON-DEBYEschen Theorie für die Wellenlängenvergrößerung die Gleichung

$$\lambda - \lambda_0 = \frac{1}{2} \cdot 0{,}0242 \sin^2\frac{\alpha}{2} \text{ Å-E.} \quad \ldots (6)$$

Exakt gilt dieser Ansatz nur für das ruhende Elektron. Aber auch für das bewegte Elektron, das an einen Atomkern gebunden ist, ergibt sich,

[1]) Zum Teil unter Benutzung der Arbeit von G. WENTZEL, Phys. Zeitschr. 26, 438, 1925, wo auch noch weitere Literaturangaben älterer Arbeiten zu finden sind.

wie DEBYE gezeigt hat, ein ähnlicher Ausdruck, sobald man die relativistische Veränderung der Ruhmasse des Elektrons mit der Geschwindigkeit in Betracht zieht, d. h. für den Impuls J_e bzw. die Energie T des Elektrons die relativistischen Werte setzt:

$$J_e = \frac{m v}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \text{ und } T = m c^2 \left[\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - 1 \right] \quad (7)$$

Trägt man, wie DEBYE es getan hat, für verschiedene Winkel α die Werte für $E = h \cdot \nu$ und T von dem Treffpunkt zwischen Lichtquant

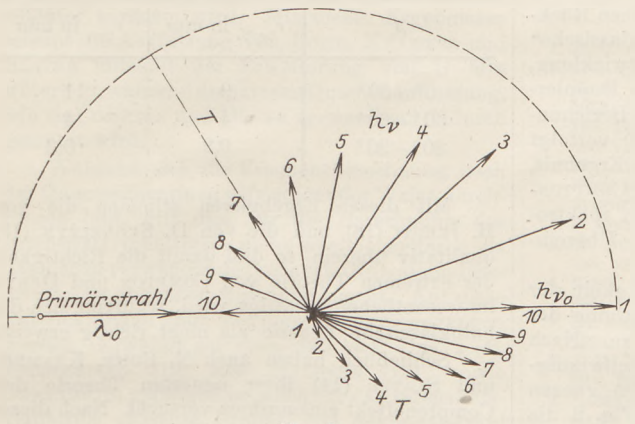


Fig. 2.

und Elektron aus ab, wobei die zusammengehörigen Werte (Pfeile) mit gleichen Nummern versehen sind, so ergibt sich Fig. 2, in der die zusammengehörigen $h \cdot \nu$-Werte in der oberen Hälfte und die T-Werte in der unteren Hälfte sich zu $h \cdot \nu_0$ ergänzen. Wie bei DEBYE (4) ist diese Figur für den Wert $\lambda_0 = \frac{h}{m c} = 0{,}0242$ Å-E. konstruiert. Dann ist für $\alpha = 180^0$ $\nu = \frac{\nu_0}{3}$ und $T = \frac{2 h \nu_0}{3}$.

Faßt man diese Folgerungen der Theorie von COMPTON und DEBYE zusammen, so ergibt sich folgendes. Wird monochromatisches Röntgenlicht an irgend einem Stoff gestreut, so ist die Frequenz eines Teiles des hindurchgegangenen Röntgenlichtes dieselbe wie zuvor. Der Rest hat aber Wellenlängen, die um so größer als die des Primärstrahles sind, je größer der Streuungswinkel α ist. Ferner muß dieser Effekt unabhängig von der Frequenz der Strahlung und von der streuenden Substanz sein, da in Gleichung (5) weder die Wellenlänge der Strahlung noch irgend eine spezifische Größe der Substanz enthalten ist. Allein die getroffenen Elektronen sind die Ursache der Streustrahlung. Wird ein Atomkern von dem Lichtquant getroffen, so kann wegen der mehrtausendfach größeren Masse m nach Gleichung (5) keine Streuung bemerkbar werden.

Für die Prüfung der COMPTON-DEBYEschen Theorie der Streustrahlung sind vor allem zwei röntgenspektroskopische Meßmethoden verwendet worden. Der eine Teil der Forscher, wie COMPTON und seine Mitarbeiter (3), sowie DUANE und seine Mitarbeiter (5) benutzten die auf Ionisationswirkung der Röntgenstrahlen beruhende Methode der Wellenlängenmessung nach BRAGG, während andere wie ROSS (3), DE BROGLIE und DAUVILLIER (7), BECKER (8), u. a. (9) die photographische Methode nach DEBYE-SCHERRER verwendeten. Als monochromatisches Röntgenlicht diente die Eigenstrahlung — meist ihre K_α-Linie — der Antikathode der Röntgenröhre R (Fig. 3), die zur Variation der Wellenlänge bei den verschiedenen Versuchen aus Molybdän, Rhodium, Silber, Tantal, Wolfram und anderem Material bestand. Da die Intensität der Streustrahlung nur sehr gering ist, müssen die Röhren sehr hohen Daueranforderungen genügen. Die Röntgenstrahlen fallen dann auf den Streukörper S. Der größte Teil

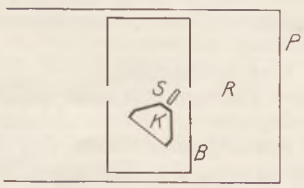


Fig. 3.

geht ungestreut hindurch und verläßt durch eine Öffnung den Bleikasten B, der den Streukörper S und den Spektrographen K vor diffus gestreuter Strahlung schützt. Die Wellenlänge und die Intensität des gestreuten Röntgenlichtes wird dann im Spektrograph K photographisch bestimmt. Die ganze Apparatur ist zum Schutze gegen äußere Einflüsse in einen großen Bleikasten P eingeschlossen.

So gelang es zunächst COMPTON (3), die Winkelabhängigkeit der Wellenlängenänderung gemäß Gleichung (5) nachzuweisen, während seine mit WOO zusammen ausgeführten Versuche den Nachweis erbrachten, daß die Streustrahlung unabhängig von der chemischen Natur des Streukörpers ist. Als solche wurden Lithium, Paraffin, Magnesium, Aluminium, Wasser u. a. verwandt und stets die Richtigkeit der Gleichung (5) gefunden, wobei sich niemals ein Einfluß des Streukörpers auf die Winkelabhängigkeit ergab.

Anderen Forschern wie W. DUANE (5) und G. HAGEN (10) gelang es anfangs nicht, die Streustrahlung zu erhalten, und so bezweifelten sie daher überhaupt die Existenz des Effektes, bis Anfang 1925 DUANE entdeckte, daß bei seinen bisherigen Versuchen ein Apparaturfehler — ein zu breiter Spalt des Apparates — den Effekt verwischt hatte. Ähnliches stellte sich auch bei den HAGENschen Messungen heraus, wie F. KIRCHNER (11) gezeigt hat.

Ist somit von allen Forschern bisher die Richtigkeit der COMPTON-DEBYEschen Formel (5)

bestätigt worden, so fragt es sich doch, ob nicht auch ohne Annahme quantentheoretischer Grundlagen — korpuskelhafte mit Impulsmomente begabte Lichtquanten! — diese Gleichung gewonnen werden kann. Wie COMPTON zuerst bemerkt hat, stimmt die Winkelabhängigkeit der Wellenlängenänderung überein mit der des Dopplereffektes für den Fall, daß die Streuung an einem in der Primärrichtung bewegten Elektron stattfindet. Nach der klassischen Theorie des Dopplereffektes erfährt ein Elektron durch den Strahlendruck eine allmähliche Beschleunigung in der Strahlenrichtung. Nach FÖRSTERLING und LENZ (12) ist diese kontinuierliche Beschleunigung das klassische Analogon des COMPTON-DEBYEschen Rückstoßes des Elektrons. Diese „halbklassische" Theorie, die sich im Verlauf der Entwicklung, die von der klassischen Theorie des Dopplereffektes ausgeht, auch quantenmäßiger Beziehungen bedient, ist von O. HALPERN (13) verfolgt worden und führt zu dem gleichen Ergebnis, Gleichung (5), wie die Theorie von COMPTON-DEBYE. Sie ist also auch mit obigen spektroskopischen Versuchsergebnissen in Übereinstimmung.

Eine Entscheidung über die Gültigkeit der beiden Theorien läßt aber die Untersuchung der Nebelspuren der Rückstoßelektronen zu. Nach der reinen Quantentheorie sind die Geschwindigkeitsvektoren der Elektronen über den ganzen vorderen Halbraum verteilt (vgl. in Fig. 2 die Pfeile der unteren Hälfte). Dagegen fordert die halbklassische Theorie, daß alle an der Streuung beteiligten Elektronen nahezu die gleiche Geschwindigkeit parallel dem Primärstrahl haben. Dies haben BOTHE (16), C. T. R. WILSON (17) und COMPTON und HUBBARD (3) experimentell untersucht. Besonders die Bestimmung der Reichweiten der Rückstoßelektronen durch die letztgenannten Forscher fällt die Entscheidung zugunsten der extremen Quantentheorie von COMPTON-DEBYE, wie die in Tabelle 1 enthaltenen Versuchsergebnisse zeigen. In der ersten Spalte sind die benutzten Wellenlängen λ_0 in Å-E, in der zweiten die maximalen beobachteten Reichweiten der Elektronen in der Richtung des Primärstrahles, in der dritten die nach COMPTON-DEBYEscher Theorie, in der vierten die nach der halbklassischen Theorie zu erwartenden Reichweiten r in mm angegeben.

Tabelle 1.
Reichweiten r der Rückstoßelektronen in Richtung des Primärstrahls.

λ_0 in Å-E.	$r_{beob.}$ in mm	$r_{ber.}$ in mm quantentheoretisch	$r_{ber.}$ in mm halbklassisch
0,71	0	0,06	0,004
0,44	0	0,3	0,02
0,29	2,5	1,8	0,1
0,20	6	6	0,4
0,17	9	12	0,7
0,13	24	18	1,5

Kürzlich konnten COMPTON und SIMON (3) auch einwandfrei Spuren seitlich gestoßener Rückstoßelektronen nachweisen, die in Übereinstimmung mit der extremen Theorie mit zunehmendem Winkel β (Fig. 1) an Reichweite abnehmen. Tab. 2 gibt diese Versuchsergebnisse wieder, wo in der 2. Spalte die beobachteten, in der dritten die nach der Theorie berechneten Werte der Reichweiten r in mm eingetragen sind.

Tabelle 2.
Reichweiten r der Rückstoßelektronen in Richtung β zum Primärstrahl.

β	$r_{beob.}$ in mm	$r_{ber.}$ in mm
0°–30°	9	11
30°–60°	4	4
60°–90°	0,9	0,3

Mit diesen Ergebnissen stimmen die von H. IKEUTI (18) und die von D. SKOBELZYN (19) qualitativ überein, so daß damit die Richtigkeit der extremen Theorie von COMPTON und DEBYE im wesentlichen bestätigt wird, während sich die halbklassische Theorie als nicht richtig erweist.

Schließlich haben auch N. BOHR, KRAMERS und SLATER (14) ihrer neuesten Theorie den Comptoneffekt einzuordnen versucht. Nach dieser Theorie haben wir zwischen einer virtuellen Welt, in der die Erscheinungen klassisch (wellentheoretisch) vor sich gehen, und einer reellen Welt zu unterscheiden, in der sich nun die wirklichen Vorgänge an den Elektronen vollziehen. In der virtuellen Welt erhält das Elektron durch die Lichtwellen die erzwungenen Schwingungen und damit die translatorische Bewegung, wobei die Streufrequenz durch den Dopplereffekt bestimmt wird. In der reellen Welt wird aber das Elektron durch den virtuellen Streuvorgang eine Impulsänderung erleiden, die aber nach dieser Theorie nicht zeitlich mit der Ankunft des Lichtquants verknüpft ist, d. h. die mit der Streuung verbundene lichtelektrische Wirkung und die Elektronenrückstöße sind zeitlich voneinander unabhängig.

So berückend diese Kombination von Wellen- und Quantentheorie, die G. MIE (22) noch weiter ausgebaut hat, auch ist, so hat sie doch eine große Schwierigkeit, die ihre Gültigkeit völlig fraglich erscheinen läßt. BOTHE und GEIGER (15) haben nämlich durch sehr sorgfältige Messungen untersucht, ob die lichtelektrische Wirkung und die Elektronenrückstöße beim Comptoneffekt gleichzeitig erfolgen. Die Versuchsanordnung enthielt in einem kleinen Volumen Wasserstoff zwei GEIGERsche Spitzenzähler, einen zur Zählung der lichtelektrischen Stöße ($h \cdot \nu$-Stöße) und einen zur Zählung der Rückstoßelektronen (e-Stöße) mit gleichzeitigen photographischen Registrierungen beider Elektroskopausschläge. So ließ sich feststellen, ob Koinzidenzen zwischen den beiden Ausschlägen auftreten. Bei den Versuchen ergab

sich, daß etwa jeder 11. $h \cdot \nu$-Stoß mit einem e-Stoß zusammenfiel, wobei die Genauigkeit der Zeitmessung bis auf $^1/_{10000}$ Sekunde dadurch getrieben werden konnte, daß die bei Spitzenzählern leicht auftretenden variablen Verzögerungen durch Überlagerung der elektrischen Spitzenfelder mit einem homogenen elektrischen Feld beseitigt wurden. Nach der Theorie von BOHR, KRAMERS und SLATER ist diese Koinzidenz nicht zu erklären, während man sie nach der COMPTONschen reinen Quantentheorie in der gefundenen Zahl erwartet, wenn man bedenkt, daß bei der Apparatur von BOTHE und GEIGER nach Wahrscheinlichkeitsgesetzen nur jedes 10. Rückstoßelektron in dem e-Zähler wirksam wird. Mit diesen Ergebnissen scheint die Auffassung von BOHR, KRAMERS und SLATER mitsamt der Erweiterung von G. MIE widerlegt, während die extreme Quantenauffassung, wie sie COMPTON und DEBYE verwandten, dadurch gestützt wird.

Während sich die Frequenzberechnung nach der Quantentheorie in befriedigender Weise durchführen läßt, gilt dies für die Berechnung der Intensitätsverhältnisse nicht so ohne weiteres, da das hier zu verwendende BOHRsche Korrespondenzprinzip zu ungenaue Aussagen macht. Auf diese Entwicklungen kann hier nicht näher eingegangen werden. Erwähnt sei aber, daß es P. DEBYE (4), FÖRSTERLING (12) und HALPERN (13), sowie COMPTON (3) gelungen ist, auch für das Intensitätsverhältnis zwischen Primär- und Sekundärstrahl Gleichungen zu entwickeln, die eine experimentelle Prüfung zulassen. Frühere Messungsergebnisse von K. W. F. KOHLRAUSCH (20), wie auch besonders die neuesten, die COMPTON (3) mit Hilfe des kurzwelligsten Teiles der γ-Strahlen des Radium C ($\lambda_0 = 0{,}0204$ Å-E.) durch Vergleich der Ionisationswirkungen von Primär- und Sekundärstrahlen erhalten hat, haben ergeben, daß der von COMPTON entwickelte Ausdruck die Tatsachen am besten wiedergibt.

Im Einklang mit der klassischen Theorie fordert die DEBYEsche Entwicklung, daß für $\alpha = 90^0$ die Streustrahlung linear polarisiert ist, während dies nach der COMPTONschen Darlegung schon für einen etwas kleineren Winkel

$$\alpha = 90^0 - arc\sin\frac{h}{h + mc\lambda_0} \quad \ldots \quad (8)$$

eintreten soll. Über die Richtigkeit der beiden Forderungen haben JAUNCEY und STAUSS (21) entscheidende Experimente ausgeführt. Bei ihren Versuchen ließen sie Röntgenstrahlen von 0,25 Å-E. zweimal an Paraffin unter dem Winkel α streuen und maßen dann die Intensität dieser Streustrahlung. Dabei ergab sich ein Minimum der Intensität für $\alpha < 90^0$ mit einer Abweichung, die der COMPTONschen Formel (8) entspricht.

Literaturverzeichnis.

1. D. C. H. FLORANCE, Phil. Mag. **20**. 921. 1910.
2. C. A. SADLER und P. MESHAM, Phil. Mag. **24**. 138. 1912.
3. H. A. COMPTON, Bull. Nat. Research. Council **4**. 15. 1922; Phys. Rev. **21**. 207 u. 483. 1923; **23**. 763 u. **24**. 168. 1924; Phil. Mag. **46**. 897. 1923. — A. H. COMPTON und Y. H. WOO, Proc. Nat. Acad. **10**. 370. 1924; **11**. 123. 1925. — A. H. COMPTON und J. C. HUBBARD, Phys. Rev. **23**. 439. 1924. — A. H. COMPTON und A. W. SIMON, Phys. Rev. **25**. 107 u. 306. 1925.
4. P. DEBYE, Phys. Zeitschr. **24**. 161. 1923.
5. W. DUANE, Proc. Nat. Acad. **9**. 413. 1923; **10**. 41, 92, 148. 1924; **11**. 25, 374. 1925; Phys. Rev. **25**. 235. 1925.
6. ROSS, Phys. Rev. **22**. 201. 1923; Proc. Nat. Acad. **9**. 246; 1923; **10**. 403. 1923; **11**. 56, 224. 1924.
7. DE BROGLIE, Compt. Rend. **178**. 908, 2076; **179**. 12. 1924.
8. J. H. BECKER, Proc. Nat. Acad. **10**. 342; 1924; Phys. Rev. **23**. 763. 1924.
9. L. MAIZLICH, Phys. Rev. **23**. 762. 1924. — H. KALLMANN und H. MARK, Die Naturw. **13**. 297. 1925.
10. G. HAGEN, Ann. d. Phys. **78**. 407. 1925.
11. F. KIRCHNER, Ann. d. Phys. **78**. 421. 1925.
12. K. FÖRSTERLING, Phys. Zeitschr. **25**. 313. 1924.
13. O. HALPERN, Zeitschr. f. Phys. **30**. 153. 1924.
14. N. BOHR, H. KRAMERS und J. C. SLATER, Zeitschr. f. Phys. **24**. 69. 1924.
15. W. BOTHE und H. GEIGER, Zeitschr. f. Phys. **32**. 639. 1925.
16. W. BOTHE, Zeitschr. f. Phys. **16**. 319 u. **20**. 237. 1924.
17. C. T. R. WILSON, Proc. Roy. Soc. **104**. 1. 1923.
18. H. IKEUTI, Compt. Rend. **180**. 1925.
19. D. SKOBELZYN, Zeitschr. f. Phys. **28**. 278. 1924.
20. K. W. F. KOHLRAUSCH, Phys. Zeitschr. **21**. 193. 1920.
21. G. M. JAUNCEY und H. E. STAUSS, Phys. Rev. **23**. 313 u. 762. 1924.
22. G. MIE, Zeitschr. f. Phys. **33**. 39. 1925; Phys. Zeitschr. **26**. 665. 1925.

5. Technik und mechanische Praxis.

Das Fernsprechen auf weite Entfernungen[1]).

1. Das gebräuchliche Mikrophon gibt an die Fernleitung eine elektrische Leistung von rund 2 mW ab. Damit die Sprache vom Empfangsapparat, dem Fernhörer am Ende der Leitung, verständlich wiedergegeben wird, muß diesem eine Leistung von rund 0,002 mW zugeführt werden. Demnach beträgt das Verhältnis der Anfangsleistung N_a zur Endleistung N_e, also das Reziproke des Wirkungsgrades der Übertragung, $N_a : N_e = 2 : 0{,}002 = 1000$. Dies Verhältnis bestimmt nach der Gleichung $\frac{N_a}{N_e} = e^{2b}$ das Dämpfungsmaß b der Leitung; b berechnet sich danach zu rund 3,5. Rechnet man für die Verluste in der Vermittlungsstelle und in dem Anschlußkabel zum Teilnehmer, sowie für Reflexionsverluste auf jeder Seite ein Dämpfungsmaß von $b = 1$, dann bleibt für die Fernleitung ein zulässiges Höchstmaß der Dämpfung $b = 1{,}5$ übrig.

Das Dämpfungsmaß b ist das Produkt aus der Leitungslänge l und der Dämpfungskonstanten β (also $b = \beta \cdot l$), und für β ergibt sich aus der allgemeinen Telegraphengleichung folgender Wert:

$$\beta = \frac{R}{2} \cdot \sqrt{\frac{C}{L}} + \frac{A}{2}\sqrt{\frac{L}{C}}.$$

Hier bedeuten die einzelnen Größen die

[1]) Das Fernsprechen im Weitverkehr. Deutsche Beiträge zur Frage des europäischen Fernsprechnetzes. Zusammengestellt vom Reichspostministerium. Verlag W. Ernst & Sohn, Berlin. 1923. 110 S. Die 18 Aufsätze sind auch in der Elektrotechn. Zeitschr., Jahrg. 45 (1924), veröffentlicht.

elektrischen Konstanten der Leitung, und zwar R den Ohmschen Widerstand, C die Kapazität, L die Induktivität und A die Ableitung pro km Leitungs-, nicht Drahtlänge. Da eine vollkommene Isolation nicht möglich ist, da ferner dielektrische Verluste auftreten, findet eine Ableitung A statt; man mißt sie durch den reziproken Wert des Isolationswiderstandes. Da der erste Summand von β immer wesentlich größer ist als der zweite (die Ableitung ist klein), wird dieser hier fortgelassen. β ist ferner abhängig von der Frequenz der übertragenen Sprachschwingungen, und zwar in der Weise, daß für höher frequente Schwingungungen die Dämpfung größer wird; auch dieser Faktor (er bestimmt die Verzerrung) ist fortgelassen.

Da das Dämpfungsmaß der Leitung den Betrag $b = 1{,}5$ nicht überschreiten darf, ergibt sich für jede Leitungsart eine Höchstlänge, die „Reichweite" $l_m = \frac{1{,}5}{\beta}$. Tabelle 1 zeigt diesen Wert für verschiedene Leitungsarten, und zwar für eine mittlere Sprechfrequenz f von 800 Hertz.

Tabelle 1.

Leitungsart	Drahtstärke mm	Dämpfungskonstante β für mittl. Sprechfrequenz 800	Reichweite $l_m = \frac{1{,}5}{\beta}$ km
1. Bronze- und Hartkupferfreileitungen	2	0,0085	180
	4	0,0029	520
2. Eisen-Freileitung	4	0,016	95
3. Kabel mit Papier-Luftraum Isolierung	0,6	0,110	13
	1,0	0,063	24
	2,0	0,033	45

Bei Verwendung einer 4 mm dicken Kupferfreileitung ist also eine gute Verständigung über 520 km möglich, gegenüber 95 km über eine gleichdicke Eisenfreileitung. Doch ist die Freileitung wegen der Gefährdung durch Witterungseinflüsse und wegen des kostspieligen hohen Kupferbedarfs namentlich für weite Entfernungen nicht geeignet. In neuester Zeit läßt daher die Reichspost die oberirdischen Leitungen durch Kabel ersetzen, obgleich deren Reichweite wesentlich geringer ist.

2. Wie sie erhöht werden kann, zeigt die Formel

$$\beta = \frac{R}{2} \cdot \sqrt{\frac{C}{L}}.$$

Da eine erhebliche Verkleinerung des Widerstandes R durch Vergrößerung der Drahtdicke sich wegen der Kosten verbietet, bleibt die Möglichkeit, die Induktivität L der Leitung zu vergrößern, worauf zuerst HEAVISIDE 1893 hingewiesen hat. (Eine wesentliche Verkleinerung von C ist nicht möglich.) Durch zwei Mittel läßt sich das erreichen: einmal indem man nach dem dänischen Ingenieur KRARUP (1902) den Leiter mit geeignetem magnetischen Material, dünnem Eisendraht oder -band, bewickelt. Krarupleitungen kommen nicht für oberirdische, sondern nur für Kabelleitungen, meistens für Seekabel, in Betracht. Von den 6 deutschen See-Fernsprechkabeln mit insgesamt 700 km Länge, die Deutschland (1922) besitzt, seien die Daten für das 1922 verlegte Kabel Leba (Pommern)-Danzig angegeben: Leiterstärke 2 mm, Länge 149 km, Zahl der Sprechkreise 12, $\beta = 0{,}012$, Induktivität 0,013 Henry je km, Anfangspermeabilität der Eisenbewicklung 150. Namentlich diese letztere ist ausschlaggebend für die Erhöhung der Induktivität. Neuerdings hat man Eisen-Nickellegierungen (mit 30 bis 80 % Ni) mit sehr hoher Anfangspermeabilität hergestellt. Auch das neue deutsche Telegraphen-Kabel Emden-Azoren, das nächstens verlegt werden soll, wird mit dieser Legierung (sie wird Permalloy genannt) umwickelt; dadurch wird eine Telegraphiergeschwindigkeit von 1500 Buchstaben in der Minute erzielt, welche die auf Landleitungen übliche bei weitem übertrifft.

Leitungen mit erhöhter Induktivität stellt man zweitens nach dem Amerikaner PUPIN (1903) dadurch her, daß man in bestimmten, errechneten regelmäßigen Abständen Drosselspulen in die Leitung legt. Die Daten des ersten Fernkabels in Deutschland, des Rheinlandkabels (Berlin-Köln, 600 km, 1910 begonnen, nach Kriegsende fertiggestellt) gibt Tabelle 2:

Tabelle 2.

Aderstärke mm	Zahl der Doppeladern	Spulen: Induktivität pro km	Spulen: Abstand km	β pro km	Grenzfrequenz Hertz
3	24	0,15 H	1,7	0,00314	3000
2	28	0,24 „	1,7	0,0050	2600

Das Dämpfungsmaß der 600 km langen Leitung für die 3 mm-Adern ist größer als 1,5, nämlich 1,9. Damals waren die Ansprüche noch geringer.

Mit Pupinfreileitungen ist bis zu 2000 km (Berlin-Rom) eine ausreichende Verständigung möglich.

3. Ein ganz außerordentlicher Fortschritt in der Reichweite wurde durch die Einführung der einige Jahre vor dem Kriege zuerst in Amerika konstruierten Hochvakuum-Elektronenröhre als Verstärker erzielt, gelang es doch schon zu Anfang des Krieges in Amerika die Entfernung von etwa 5000 km (New-York—San Franzisko) und in Deutschland von über 3000 km (Verbindung der entfernten Fronten) zu überbrücken. Näheres Eingehen auf Einrichtung und Wirkungsweise der Verstärkerröhre wird sich hier erübrigen. Der Sinn des Verstärkers ist ja der, daß er der Leitung neue Energie aus der Anodenbatterie zuführt, welche durch das Gitter im Takte der Sprechströme gesteuert wird.

Als man nach dem Kriege vor der Aufgabe stand, unser stark überlastetes Fernnachrichtennetz unter Verwendung der Verstärkerröhren

Tabelle 3.

Stromkreise	1 Zahl der Stromkreise	2 Leitungswiderstand Ω pro km	3 Mittelwerte der Schleifenkapazität μF pro km	4 Spuleninduktivität	5 Dämpfungskonstante β pro km	6 Grenzfrequenz
0,9 mm Stamm	58	57,6	0,035	0,20 H	0,0210	2800
0,9 „ Vierer	29	28,8	0,060	0,07 „	0,0210	3500
1,4 „ Stamm	40	23,8	0,037	0,19 „	0,0105	2800
1,4 „ Vierer	20	11,9	0,064	0,07 „	0,0105	3500

wirtschaftlich und technisch neu zu organisieren, kam man zu dem Ergebnis, daß es am günstigsten sei, Normaltypen für das deutsche Fernkabel zu schaffen. Die wirtschaftlichste Aderdicke wurde zu 0,9 und 1,4 mm berechnet, und zwar auf folgende graphische Weise (s. Fig. 1):

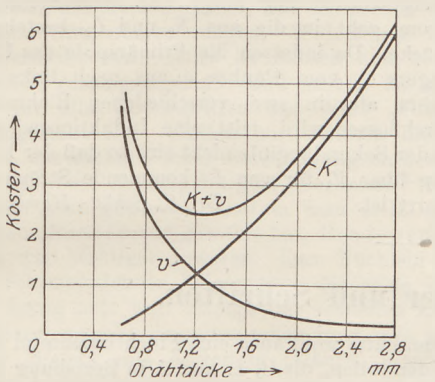


Fig. 1.

Die Ordinaten der Kurven bedeuten die in einer willkürlichen Einheit errechneten laufenden Betriebskosten einer langen, mit Verstärkern ausgerüsteten Fernleitung, und zwar Kurve K die reinen Kabelkosten — sie nehmen mit der als Abszisse aufgetragenen Leiterstärke zu — und Kurve V die reinen Verstärkerkosten — eine dickere Leitung beansprucht weniger Verstärker. Kurve $K + V$ hat ein Minimum bei der Drahtstärke 1,3 bis 1,4 mm.

Die Normaltype des deutschen Fernkabels besteht aus 98 Doppeladern, von denen 58 aus Kupferleitern von 0,9 mm und 40 aus solchen von 1,4 mm Durchmesser bestehen. Für Sonderfälle sind 166 und 58 paarige Kabel vorgesehen. Die elektrischen Daten gibt Tab. 3. Wirtschaftliche und technische Gesichtspunkte sind maßgebend für Schaltung der Kabeladern: bei geringeren Entfernungen (unter 900 km) verwendet man einfach die Stammleitung (die sogenannte Zweidrahtschaltung) mit 5 bis 6 Verstärkern, darüber hinaus die Vierdrahtschaltung der schwachen Adern. Der Vierdrahtbetrieb in den starken Adern kommt nur für besonders große Leitungslängen in Frage. Fig. 2 gibt schematisch über die Verteilung der Verstärker im deutschen Fernkabel Aufschluß; in einer Linie wechseln Zweidrahtverstärker für schwache Adern (Nebenämter N) mit solchen für starke Adern (Hauptämter H) ab. Erstere betreiben nur schwache Adern mit Verstärkern, die Hauptämter beide Aderstärker. Von der Deutschen Fernkabelgesellschaft, der die größeren deutschen Elektrizitäts- und Kabelgesellschaften angehören, waren bis Dezember 1924 3400 km Kabel mit rund 500000 km Sprechkreisen und 32 Verstärkerämtern fertig gestellt, für 1925 ist eine Vermehrung um rund 50% vorgesehen. Das Normalkabel ist auch mit Pupinspulen (Spalte 4) im Abstande von 2 km ausgerüstet. Besonders bemerkenswert ist die hohe Grenzfrequenz der Kabel, die darum wertvoll ist, weil in den Lauten der Sprache Teiltöne hoher Frequenz enthalten sind; läßt die Leitung dieselben nicht durch, dann schwinden die Unterschiede zwischen den einzelnen Vokalen und Konsonanten, die ja auf der Klangfarbe, d. h. Zahl und Intensität der Obertöne beruhen, und die Verständlichkeit leidet. Stellt man hohe Anforderungen an die Deutlichkeit, dann müßte man Frequenzen bis herauf zu 5000 Hertz übertragen.

Zum Schluß noch einige Worte über eine Schwierigkeit, die bei der Schaltung von Verstärkern auftritt: letztere lassen nur Strom einer Richtung hindurch, während eine Benutzung der

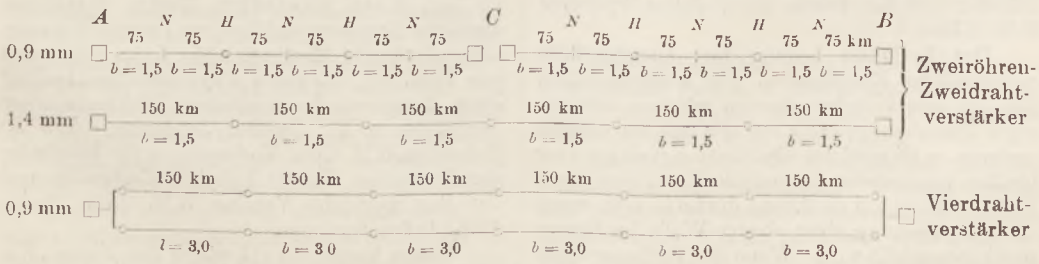


Fig. 2.

Fernsprechleitung in beiden Richtungen gebräuchlich ist. Man hilft sich z. B. durch Anbringung einer elektrischen Weiche (Fig. 3), deren Leitung a den Verstärker V_1 für die eine Richtung und Leitung b V_2 für die andere Richtung enthält. Dabei ist aber zu beachten, daß in Fig. 3 der aus der Leitung L_1 kommende und in V_1 verstärkte Strom auch auf V_2 wirken und hier weiter verstärkt werden würde, so daß ein Kreislauf der Verstärkung entstünde, d. h. irgend ein aus L_1 oder L_2 kommender Anstoß würde die Verstärker zum Pfeifen bringen. Das wird vermieden durch die in Fig. 4 dargestellte Verstärkerweiche mit Brückenabgleich. N_1 und N_2 sind die sogenannten Nachbildungen der Leitung. Sie werden aus Widerständen, Induktionsspulen und Kondensatoren so zusammengesetzt, daß ihr Scheinwiderstand mit dem Scheinwiderstand der gesamten Leitung übereinstimmt. Kommt aus der Leitung L_1 von links her ein (Wechsel-)Strom, dann geht er, da V_2 von links nicht passierbar ist, über V_1 (Verstärkung) weiter. Ein Teil der Energie geht in die Nachbildung N_1, was einen

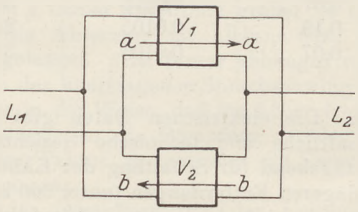


Fig. 3.

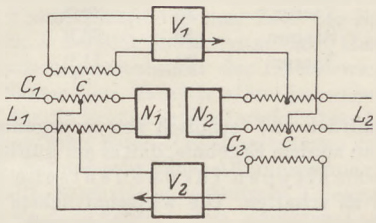


Fig. 4.

Energieverlust zur Folge hat. Der verstärkte Strom geht in die aus N_2 und L_2 bestehende Brücke. Da indessen die Primärspule des Übertragers C_2 vom Punkte c aus nach links und rechts, also in zwei verschiedenen Richtungen durchflossen wird, tritt eine Induktionswirkung in der Sekundärspule nicht ein, so daß der Rückweg über V_2 für von L_1 kommende Ströme gesperrt ist. *Dr. K. Schütt, Hamburg.*

Neu erschienene Bücher und Schriften.

Physikalisches Meßpraktikum. Für Schüler der obersten Klassen von Mittelschulen sowie für Mediziner und Biologen. Von Prof. Dr. Rudolf Schmid. 40 Abbildungen im Text. Leipzig und Wien 1926, Verlag Franz Deuticke. VI u. 47 S.

Diese Schrift ist unter dem Gesichtspnnkte zusammengestellt, daß die bei den Übungen verwendeten Geräte „österreichisches Erzeugnis" sind, oder besser gesagt, daß die Geräte in einer in der Schrift angegebenen Wiener Werkstatt gebaut werden. Einen tieferen Gedanken verfolgt die Schrift nicht. Die sog. Schülerübungsgeräte sind zum großen Teil veraltete, recht kostspielige Vorlesungsgeräte. Die Versuchsanleitungen sind oberflächlich. *Dr. C. Fischer.*

Die Methode der graphischen Darstellung und ihre Anwendung in Theorie und Praxis der Radiotechnik. Von O. Herold. (Bibl. des Radio-Amateurs, herausgeg. von Dr. E. Nesper, Bd. 28.) (87 S.) Berlin 1925, Julius Springer R.M. 2.70.

Der Verfasser benutzt fast ausschließlich rechtwinklige Koordinaten. Die wenigen Bilder (51 – 54) mit Polarkoordinaten scheinen mir weniger glücklich gewählt zu sein als die meisten anderen. — Es wird nur die Abhängigkeit zweier Größen voneinander dargestellt. Eine Folge dieser Beschränkung auf die Ebene dürfte es sein, wenn die Fortpflanzuug einer ebenen Welle im Raume nicht dargestellt wird. Wenn der Verfasser überhaupt eine nomographische Tafel bringt (Bild 16), dann hätte wohl auch eine Fluchtlinientafel Platz finden sollen, die C, L und λ in Beziehung setzt. Bilder von Versuchsanordnungen (38 und 41) passen nicht recht in den Rahmen des Buches. Die Konstruktion einer Sinuslinie aus verschiedenen Stellungen eines Kreisradius könnte deutlicher behandelt sein. Es fehlt eine überaus anschauliche Darstellungsart: die Spannung an den einzelnen Punkten eines Leiters als Lot aufzutragen.

Fast alle Bilder des Buches sind gut angelegt und ausgeführt. Der begleitende Text ist so leicht verständlich wie möglich, dabei anspruchslos und das Wesentliche treffend. So erscheint das Buch geeignet, die Benutzung der graphischen Darstellung in weitere Kreise zu tragen. *F. F. Martens.*

Kalender der Deutschen Funkfreunde 1926. Herausgegeben im Auftrage des Deutschen Funktechnischen Verbandes e. V., Berlin, von Dr.-Ing. Karl Mühlbrett, Techn. Staatslehranstalten Hamburg und Ziviling. Friedr. Schmidt, Generalsekretär Hamburg. Mit einem Geleitwort von Prof. Dr. A. Esau, Physikalisches Institut Jena, Präsident des Deutschen Funktechnischen Verbandes e. V. Zweiter Jahrgang. (216 S.) Gebunden R.M. 3.60. Vorzugspreis für Mitglieder des Deutschen Funktechnischen Verbandes und der ihm angeschl. Vereine R.M. 2.70. Berlin 1926, Julius Springer.

Dieses kleine Lexikon — der Name „Kalender" ist doch wohl reichlich bescheiden — ist

wirklich des Kaufes wert, denn sein Inhalt ist außerordentlich reich. Man findet vieles, wonach man sonst in vielen Büchern suchen muß. Wir lassen eine kurze Aufzählung der einzelnen Abschnitte folgen. Ein allgemeiner Teil ist vorangestellt mit den Kapiteln: Organisation des Deutschen Funkwesens, Gesetze und Verordnungen, Vorschriften für den Bau von Außenantennen, Vereine von Funkfreunden, Kurzwellendienst (dessen Umfang bereits erstaunlich ist), Funkschriften, Funkstellen und Sendegesellschaften. Dann folgt der technische Teil, für den Fachmann der Hauptteil, mit den Kapiteln: Der Vorgang beim Funksenden und Funkempfangen, die Funkempfangsgeräte, Funkempfangsschaltungen, das Funksenden (dieser Abschnitt ist reichlich mager), Funkmessungen, Formeln und Tabellen. In diesen letzteren findet man Angaben u. a. über elektrische Einheiten, Röhrenangaben, das Morsealphabet, das Zeitzeichen von Nauen, Spulenberechnungen, Widerstand von Kupferdraht usw. Alles ist hübsch und übersichtlich zusammengestellt und schade ist nur, daß für alle Überschriften das Wort „Funk" vorangestellt ist. Wollen wir wirklich dieses Wort, das sachlich jeder Berechtigung entbehrt, der Nachwelt als eingebürgert überliefern? Mir ist nie klar geworden, warum man z. B. den Namen „Rundfunk" gewählt hat, Rundspruch wäre weit richtiger gewesen. Dem Büchlein ist ein Schreibkalender beigegeben, der seine Berechtigung hat, weil infolge der schnellen Entwicklung manche Angaben schon im Laufe weniger Monate eine Änderung erfahren müssen. Einige kleine Unstimmigkeiten sind bereits jetzt vorhanden, die sich wohl aus dem angegebenen Grunde kaum vermeiden ließen. Alles in allem: Wir können dieses kleine Werk jedem empfehlen, der die Entwicklung der Hochfrequenztechnik verfolgt. *Dr. Friedrich Moeller.*

Überwindung der Materie. Von Dr. Ernst Wasa Bräuer. Leipzig, J. A. Barth, 1925. II + 106 S. Brosch. RM. 4.80.

Das Buch nimmt seinen Ausgang von den als Tatsache schlechtweg vorausgesetzten Ergebnissen moderner Theorien, vor allem der Atomtheorie, mit der Absicht, einen neuen Monismus als „Welteinheit des Geistes" darzustellen. Erfüllt uns schon die Erinnerung an gewisse Vorgänger, die auf Grund naturwissenschaftlicher Einsichten eine „Weltanschauung" entwarfen, mit Mißtrauen, wo wird diese Stimmung durch die näheren Ausführungen des Buches verstärkt. Berkeley, auf den der Verf. sich beruft, findet in Ernst Mach seine zeitgemäße Ergänzung, nur daß Mach sich auf das Erkenntniskritische beschränkt und hierin höchst beachtenswert bleibt. Wo er selbst zur Synthese übergeht, vermögen wir ihm nicht zu folgen, weil er schließlich in der Metaphysik landet. Bräuer erklärt, nicht von Metaphysik zu sprechen, aber qui vult vitare Charybdim ... Also er landet nicht, sondern steuert mit geblähten Segeln in jenes Reich des alles und nichts. Die Naivität, wie hier in Kürze die tiefsten Probleme abgehandelt werden, hat etwas Rührendes an sich, weil man ein begeistertes, oft religiöses Ethos spürt. Aber der gute Wille tröstet nicht über die Tatsache hinweg, daß wir hier philosophischen Dilettantismus mit dem Anspruch einer wissenschaftlichen Leistung vorfinden. Aus der Fülle der angeschlagenen Themen — Denken und Denkgesetze, Welteinheit, Weltwerden, Freiheit und Wille, der Mensch und die Erkenntnis, Weltsinn und Gott usw. — sei hier nur der Grundgedanke des Buches berührt: „Die Welt als gesetzmäßig strömendes Denken." Der gegen einige Darstellungen der allgemeinen Relativitätstheorie erhobene Vorwurf, daß sie den Charakter der Theorie als Mittel der Beschreibung einer physischen Gegebenheit verkenne und das physisch Gegebene in mathematische Beziehungen verwandle — dieser Vorwurf ist für Bräuer im Gegenteil der grundlegende Gedanke. „Die einfachste Beschreibung der Stoffwelt ist die der physikalischen Forschung: Ein ungeheures System von Bedingungsgleichungen, ein Netz von Bahnen für etwas, das im Gebiet der Physik nicht vorhanden ist" (23). — „Denkgesetz ist die Stoffwelt, das ist ihr einziger und ausschließlicher Sinn." — In der Art der Darstellung vermißt man oft die nötige Klarheit, wie denn auch gefühlsmäßige Sprachwallungen die Logik einer wissenschaftlichen Darstellung eher trüben als fördern.

Dr. Eugen Stock.

Chemie in Natur und Kultur. Von Prof. Dr. Richard Meyer. Braunschweig, Friedr. Vieweg & Sohn, 1925. 220 S. Geh. RM. 10.—.

Das Buch gibt Vorträge, wie sie der Verf. in Volksbildungskursen gehalten hat, mit guter Beschreibung der dabei ausgeführten Versuche. Letztere sind sehr zweckentsprechend gewählt, so daß man für den eigenen Unterricht manche Anregung gewinnt. Der Umfang des gebotenen Stoffs entspricht völlig dem beabsichtigten Zweck. Neben guter Einführung in die anorganische Chemie werden die technischen Anwendungen reichlich behandelt. Auch die Nahrungsmittel, Beziehungen zur Landwirtschaft fehlen nicht, während ein sorgfältiges Register den Gebrauchswert des Buches erhöht. Angesichts des besonderen Hinweises auf die Kultur im Titel des Buches vermisse ich allerdings geschichtliche Erläuterungen über die Entwicklung der Chemie. Mit den technischen Anwendungen ist der Kulturwert einer Naturwissenschaft noch lange nicht erschöpft. Vielleicht wird der hiermit ausgedrückte Wunsch in der nächsten Auflage erfüllt.

Dr. Eugen Stock.

Mikrochemisches Praktikum. Von Friedrich Emich, Prof. a. d. Techn. Hochschule Graz. Mit 77 Abbildungen. München, J. F. Bergmann, 1924. XIII u. 174 S. RM. 6.60.

Das Buch setzt die Kenntnis der üblichen qualitativen und quantitativen Analyse voraus, sein Inhalt ist für einen sich daran anschließenden einsemestrigen Kursus berechnet. Die quantitative organische Mikroanalyse ist nicht berücksichtigt, da hierfür das Pregl'sche Werk (vgl.

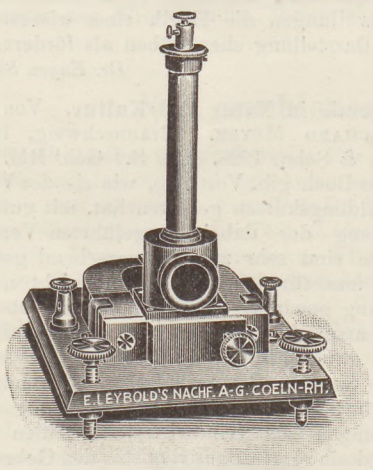
d. Zeitschr. 37, 141; 1924) vorliegt, doch wurde dieses, mit Erlaubnis des Autors, mehrfach herangezogen, z. B. findet sich die hochempfindliche Kuhlmannsche mikrochemische Wage näher beschrieben. Anderseits wird aber im „organischen Teil“ (S. 119/165) die qualitative Elementaranalyse behandelt und eine größere Reihe von Versuchen und Übungen mitgeteilt. Für die praktischen Übungen der Schulchemie ist das Buch insofern beachtenswert, als hier vielfach mit leicht zu beschaffenden Mitteln und oft überraschend einfachen Behelfen gearbeitet wird, womit noch eine Ersparnis an Material, Zeit und Energie verknüpft ist. Mit Recht hebt aber der Verfasser hervor, daß die Mikromethoden nicht die Makromethoden verdrängen sollen. Die Anschaffung des Buches mindestens für die Anstaltsbibliotheken ist sehr zu befürworten. *O. Ohmann.*

Aus Werkstätten.

Ein neues Spiegelgalvanometer.

Die Firma E. Leybold's Nachfolger A.-G., Köln und Berlin, hat kürzlich ein neues Spiegelgalvanometer für den Unterricht herausgebracht, das sich in mehrfacher Hinsicht vor den bisher gebräuchlichen Instrumenten dieser Art vorteilhaft auszeichnet. Faßt man nämlich die Forderungen zusammen, die man an ein Schul-Spiegelgalvanometer stellen muß, so ergeben sich in der Hauptsache folgende Gesichtspunkte:

1. Das Instrument muß eine ausreichende Empfindlichkeit haben, um insbesondere auch Messungen der verschiedensten Arten mit



Thermoelementen und Thermosäulen durchführen zu können.

2. Die Einstelldauer des Instruments darf nicht zu groß sein, es darf daher weder lange schwingen, noch darf es sich „kriechend“ auf den endgültigen Ausschlag einstellen.

3. Der innere Widerstand des Instruments muß zu den gebräuchlichsten Schulversuchen passen, d. h. die Größenordnung des inneren Widerstandes muß zweckmäßig etwa 20 Ohm sein.

4. Endlich ist zu fordern, daß das Instrument leicht ablesbare deutliche Ausschläge gibt, daß es übersichtlich gebaut ist, daß es leicht zu handhaben ist, daß es mechanisch und elektrisch nicht leicht Beschädigungen ausgesetzt ist, und endlich mit Rücksicht auf die heutige Notlage der Schulen, daß der Preis so niedrig wie möglich bemessen wird.

Um die Schwingungsdauer des neuen Instruments möglichst klein zu machen, wurde ein kleiner Querschnitt der Drehspule gewählt, und die Spule wurde so leicht wie irgend möglich gemacht. Das ganze System wiegt einschließlich Spiegel und Aufhängung nur ungefähr 1,5 g. Das Trägheitsmoment des Systems ist daher sehr gering und die halbe Schwingungsdauer des Instruments beträgt nur etwa 2,5 Sekunden.

Leider ist die Dämpfung des Systems nicht in ähnlich einfacher Weise auf den gewünschten Wert zu bringen, da nämlich die Dämpfung vom Widerstand des Galvanometerkreises, also auch vom äußeren Widerstand abhängt. Ferner wird die Dämpfung um so größer, je kräftiger das Magnetfeld ist, in dem die Spule schwingt. Anderseits war es wünschenswert, ein möglichst kräftiges Magnetfeld zu benutzen, um trotz der kleinen Windungsfläche der Spule und trotz der verhältnismäßig geringen Zahl von Windungen hinreichende Empfindlichkeit des Instruments zu sichern. Aus diesem Grunde wurde ein sehr kräftiger schwerer permanenter Magnet verwendet, der in der nebenstehenden Figur horizontal liegend deutlich sichtbar ist. Die Empfindlichkeit des Instruments beträgt mit diesem Magneten etwa 6×10^{-9} Ampere für 1 mm Ausschlag in 1 m Entfernung, ist also in Anbetracht des niedrigen inneren Widerstandes von 20 Ohm und des ziemlich weiten Luftspaltes, in dem sich die Spule bewegt, und der zur Erleichterung der Handhabung des Instruments notwendig ist, als sehr hoch zu bezeichnen.

Mißt man, bei welchem äußeren Widerstand das Instrument sich gerade eben aperiodisch, also innerhalb von etwa drei Sekunden einstellt, so erhält man als „Grenzwiderstand“ 150 Ohm. Bei einem größeren äußeren Widerstand schwingt das System, während es bei einem kleineren Widerstand im äußeren Kreise kriecht. Da Messungen in der Schule mit größeren äußeren Widerständen als 150 Ohm selten vorkommen, und da außerdem die Schwingungen auch dann noch ziemlich gut gedämpft sind, so wurde von einer besonderen Dämpfungsvorrichtung für hohen äußeren Widerstand abgesehen. Um jedoch die lästige kriechende Einstellung bei kleinem äußeren Widerstand zu verhindern, wurde der Ausweg beschritten, durch einen magnetischen Nebenschluß, der durch eine Rändelschraube leicht reguliert werden kann, das magnetische Feld durch die Drehspule so weit zu schwächen,

Äußerer Widerstand in Ohm . . .	0	5	10	20	50	100	150	200	500
Einstelldauer in Sekunden	3	3	3	3	3	3	3	4 (period.)	10 (period.)
Empfindlichkeit $\times 10^8$	2,2	2,0	1,8	1,6	1,2	1,0	0,7	0,7	0,7

wie für jeden äußeren Widerstand zur Erlangung aperiodischer Einstellung notwendig ist. Allerdings geht dadurch die Empfindlichkeit des Instrumentes etwas zurück, ein kleiner Nachteil, der durch die Beschleunigung der Ablesung mehr als ausgeglichen ist. Außerdem hat man die Möglichkeit, in solchen Fällen, wo äußerste Empfindlichkeit notwendig ist, auf schnelle Einstellung zu verzichten. Aus der obigen Tabelle geht hervor, wie die Empfindlichkeit des Instrumentes von dem äußeren Widerstand abhängt, wenn man jeweils auf aperiodische Einstellung abgleicht.

Die Tabelle ist durch zwei Messungen bei einem äußeren Widerstand von 200 und 500 Ohm erweitert, um zu zeigen, wie sich die Einstellungsdauer bei hohem äußeren Widerstand ändert. Bei völlig offenem Instrument, also unendlich hohem äußeren Widerstand, beträgt die Einstellungsdauer zehn bis zwölf Sekunden, was immer noch als gering zu bezeichnen ist.

Die praktisch ausgeführten Versuche mit dem Instrument zeigen sofort den Nutzen der schnellen Einstellung bei hoher Empfindlichkeit, da Irrtümer durch Kriechen und Pendeln ausgeschlossen sind. So folgt das Galvanometer bei der Darstellung der Energieverteilung im Spektrum, bei Messungen mit HERTZ'schen Wellen, oder auch bei Induktionsversuchen augenblicklich den Änderungen der Stromstärke, so daß der Lichtzeiger stets ein getreues Bild des Vorgangs ergibt. Daß für das Instrument in der Regel die bekannte objektive Ablesung mittels Nitralampe angewendet wird, sei nur nebenher erwähnt. Verdunkelung des Zimmers ist infolgedessen bei der Ausführung der Versuche nicht notwendig. Selbstverständlich kann das Instrument ohne weiteres auch für Ablesung mit Fernrohr und Skala Verwendung finden; die Linse im Instrument ist zu diesem Zweck leicht herausnehmbar und kann durch eine ebene Glasscheibe ersetzt werden. Endlich verdient erwähnt zu werden, daß das Instrument bei äußeren Widerständen von etwa 20 Ohm ab auch als ballistisches Galvanometer gebraucht werden kann, indem der magnetische Nebenschluß ganz geschlossen wird.

Um das neue Instrument nicht zu kostspielig werden zu lassen, was immerhin heute einer der wichtigsten Gesichtspunkte ist, wurde trotz erstklassiger mechanischer und elektrischer Ausführung alles Überflüssige vermieden. Das Instrument enthält weder eine Libelle noch einen komplizierten Torsionskopf. Die horizontale Einstellung des Instruments ist nach Aufheben der Kappe durch Beobachtung der Spule ebenso bequem möglich, wie mit Hilfe einer Libelle, und an Stelle des sonst vielfach üblichen komplizierten Mechanismus zur Betätigung der Fadenspannung ist eine einfache Klemmvorrichtung getreten. Diese Vorrichtung ist zudem sehr übersichtlich, so daß Irrtümer im Gebrauch nicht leicht vorkommen können. Durch besondere Vorrichtungen ist verhindert, daß durch ungeschickten Gebrauch der Einstellvorrichtung der Faden abgerissen werden kann. Im übrigen ist die Firma E. Leybold's Nachf. A.-G. zu weiteren Mitteilungen gern bereit. *Kr.*

Korrespondenz.

Prof. LAMPAS in Friedberg (Hessen) teilt mit, daß Prof. Dr. AUGUST STROMAN am 29. Januar 1926, seinem 64. Geburtstage, gestorben ist. Der Oberhessische Anzeiger vom 1. Februar 1926 enthält einen ausführlichen und eindrucksvollen Nachruf auf den Heimgegangenen, der auch unserer Zeitschrift nahe gestanden hat.

Die Jahrgänge 17 bis 21, 23, 25, 27, 28, 35 und 36 weisen eine größere Zahl wertvoller Beiträge von STROMAN auf; sie beziehen sich auf alle Teile der Physik und auf Chemie und kennzeichnen den Verstorbenen als vortrefflichen Experimentator mit scharfem Verstande und praktischem Blick.

1914 zog er mit 50 Jahren ins Feld hinaus, kehrte nach einigen Monaten krank zurück und hat sich seitdem nicht mehr völlig erholt. STROMAN war eine durchaus tüchtige und durchaus liebenswürdige Persönlichkeit, zwei Eigenschaften, die nicht so sehr häufig in einem Menschen vereinigt sind. Sein Wirken für unsere Zeitschrift wird unvergessen bleiben. *M.*

Die Staatliche Hauptstelle für den naturwissenschaftlichen Unterricht hat durch das Ministerium für Wissenschaft, Kunst und Volksbildung am 26. September 1925 beim Reichspostministerium beantragt, den öffentlichen Schulen die Errichtung und den Betrieb einer Funkempfangsanlage gebührenfrei zu gestatten. Das Gesuch ist durch Entscheidung III/VI 3204 vom 25. Januar 1926 aus grundsätzlichen Rücksichten abgelehnt worden, da seit 1920 alle Gebührenbefreiungen und Gebührenermäßigungen durch Reichsgesetz aufgehoben worden sind. *Mtth.*

Himmelserscheinungen im Mai und Juni 1926.

W. Z.: Welt-Zeit = Bürgerlich. Zeit Greenwich. 0^h W. Z. = Mitternacht bürgerl. Zeit Greenwich. Stundenzählung von 0^h bis 24^h. St. Z. = Bürgerl. Zeit Stargard = W. Z. + 1^h.

W. Z. 0^h		Mai 1	6	11	16	21	26	31	Juni 5	10	15	20	25	30
☿	AR	$0^h 53^m$	1.15	1.41	2.11	2.44	3.22	4.4	4.50	5.37	6.23	7.5	7.43	8.15
	D	$+2{,}5^0$	$+4{,}8$	$+7{,}5$	$+10{,}7$	$+14{,}0$	$+17{,}5$	$+20{,}7$	$+23{,}2$	$+24{,}8$	$+25{,}2$	$+24{,}6$	$+23{,}2$	$+21{,}2$
♀	AR	$23^h 39^m$	23.59	0.19	0.40	1.0	1.21	1.43	2.4	2.26	2.48	3.11	3.35	3.58
	D	$-3{,}1^0$	$-1{,}3$	$+0{,}5$	$+2{,}4$	$+4{,}4$	$+6{,}4$	$+8{,}3$	$+10{,}3$	$+12{,}1$	$+13{,}9$	$+15{,}6$	$+17{,}2$	$+18{,}6$
☉	AR	$2^h 30^m$	2.49	3.8	3.28	3.48	4.8	4.28	4.49	5.9	5.30	5.51	6.12	6.32
	D	$+14{,}8^0$	$+16{,}3$	$+17{,}6$	$+18{,}9$	$+20{,}0$	$+21{,}0$	$+21{,}8$	$+22{,}4$	$+22{,}9$	$+23{,}3$	$+23{,}4$	$+23{,}4$	$+23{,}2$
♂	AR	$22^h 3^m$	22.17	22.31	22.45	22.58	23.12	23.25	23.38	23.51	0.4	0.16	0.29	0.41
	D	$-13{,}7^0$	$-12{,}5$	$-11{,}3$	$-10{,}0$	$-8{,}7$	$-7{,}4$	$-6{,}1$	$-4{,}8$	$-3{,}5$	$-2{,}2$	$-0{,}9$	$+0{,}4$	$+1{,}6$
♃	AR	$21^h 46^m$		21.51		21.54		21.57		21.58		21.59		21.58
	D	$-14{,}2^0$		$-13{,}8$		$-13{,}6$		$-13{,}4$		$-13{,}3$		$-13{,}3$		$-13{,}5$
♄	AR	$15^h 28^m$				15.22				15.16				15.12
	D	$-16{,}4^0$				$-16{,}0$				-15.7				$-15{,}5$

Δ = Sternzeit für 0^h Welt-Zeit; für östl. bzw. westl. Länge λ^0 v. Greenwich: $\mp\ \lambda \cdot 0.657^s$.

Zeitgl. = Mittl. Z. — Wahre Z.

Δ	14 h 32m 39s	14. 52.22	15. 12.5	15. 31.48	15. 51.31	16. 11.13	16. 30.56	16. 50.39	17. 10.22	17. 30.4	17. 49.47	18. 9.30	18. 29.13
Zeitgl.	$-2^m 50^s$	-3.23	-3.42	-3.46	-3.37	-3.14	-2.40	-1.54	-0.59	$+0.2$	$+1.7$	$+2.11$	$+3.14$

Breite von Berlin (52,5°). Länge v. Stargard. Aufgang u. Untergang d. ob. ☉-Randes. St. Z.

☉ Aufg.	$4^h 29^m$	4.20	4.11	4.3	3.55	3.49	3.44	3.40	3.37	3.36	3.36	3.37	3.29
☉ Unterg.	$19^h 26^m$	19.34	19.43	19.50	19.58	20.5	20.11	20.17	20.21	20.25	20.27	20.27	20.27

Breite von Berlin (52,5°). Länge v. Stargard. Aufgang u. Untergang d. ob. ☾-Randes. St. Z.

☾ Aufg.	$23^h 25^m$	2.32	4.26	7.28	12.46	18.42	(24.2)	1.50	3.52	8.17	13.53	20.4	23.35
☾ Unterg.	$6^h 47^m$	12.17	19.1	(24.19)	2.11	3.45	7.28	14.6	20.22	23.54	1.9	3.18	9.12

Mondphasen W. Z.	Neumond	Erstes Viertel	Vollmond	Letztes Viertel
				Mai 5. $3^h 13.2^m$
	Mai 11. $22^h 55.3^m$	Mai 19. $17^h 48.3^m$	Mai 27. $11^h 48.7^m$	Juni 3. $8^h 8.9^m$
	Juni 10. $10^h 8.2^m$	Juni 18. $11^h 13.6^m$	Juni 25. $21^h 12.8^m$	

Verfinsterungen der Jupitertrabanten I, II, III, IV. E: Eintritt, A: Austritt. W. Z.

I	II	III	IV
Mai 4. $2^h 52.3^m$ E	Juni 12. $1^h 19.5^m$ E	Mai 28. $1^h 7{,}7^m$ E	Mai 3. $1^h 12.3^m$ E	Mai 1. $2^h 42.8^m$ A
„ 20. $1^h 8.9^m$ E	„ 27. $23^h 36.4^m$ E	Juni 29. $0^h 40\ 3^m$ E	Juni 8. $0^h 50.3^m$ A	
			Juni 15. $1^h 11.1^m$ E	

Tägliches Erscheinen und Verschwinden der Planeten. Breite von Berlin. Länge v. Stargard.

St. Z.	☿	♀	♂	♃	♄
Mai 1.	A $4{,}0^h$ D_m $4{,}1^h$	A $3{,}3^h$ D_m $4{,}1^h$	A $2{,}7^h$ D_m $3{,}7^h$	A $2{,}4^h$ D_m $3{,}5^h$	D_a $20{,}6^h$ U $3{,}2^h$
„ 11.	—	A $3{,}0^h$ D_m $3{,}8^h$	A $2{,}3^h$ D_m $3{,}4^h$	A $1{,}8^h$ D_m $3{,}2^h$	D_a $20{,}9^h$ U $3{,}0^h$
„ 21.	—	A $2{,}7^h$ D_m $3{,}5^h$	A $1{,}8^h$ D_m $3{,}1^h$	A $1{,}1^h$ D_m $2{,}9^h$	D_a $21{,}2^h$ U $2{,}7^h$
„ 31.	—	A $2{,}4^h$ D_m $3{,}3^h$	A $1{,}4^h$ D_m $2{,}9^h$	A $0{,}5^h$ D_m $2{,}7^h$	D_a $21{,}4^h$ U $2{,}5^h$
Juni 10.	(20,9 h)	A $2{,}1^h$ D_m $3{,}2^h$	A $1{,}0^h$ D_m $2{,}8^h$	A $23{,}8^h$ D_m $2{,}7^h$	D_a $21{,}6^h$ U $2{,}4^h$
„ 20.	D_a $20{,}9^h$ U $21{,}8^h$	A $1{,}9^h$ D_m $3{,}2^h$	A $0{,}5^h$ D_m $2{,}8^h$	A $23{,}2^h$ D_m $2{,}6^h$	D_a $21{,}6^h$ U $2{,}0^h$
„ 30.	D_a $20{,}9^h$ U $21{,}9^h$	A $1{,}7^h$ D_m $3{,}2^h$	A $0{,}0^h$ D_m $2{,}8^h$	A $22{,}6^h$ D_m $2{,}6^h$	D_a $21{,}6^h$ U $1{,}3^h$

A = Aufgang; U = Untergang; D_a und D_m = Erscheinen bzw. Verschwinden in der Dämmerung.

W. Z. Jupiter in Konjunktion mit dem **Mond** Mai 5. 20^h. **Venus** in Konjunktion mit dem **Mond** Juni 7. 1^h.
Sommersolstitium Juni 22. $4^h 30^m$.

A. Weill.

Für die Redaktion verantwortlich: Ministerialrat Professor Dr. K. Metzner, Berlin W. 8.

Nachdruck nur mit Quellenangabe und mit Genehmigung der Verlagshandlung gestattet.

Verlag von Julius Springer in Berlin W. — Druck der Univ.-Druckerei H. Stürtz A. G., Würzburg.